



KELIRIKKOTEIDEN LIIKENNEKUSTANNUKSET

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

TIESUUNNITTELUOSASTON TUTKIMUKSIA

TVH 2.393

HELSINKI 5.1.1973



VII B

18988

08

TIE

KARVONEN

KELIRIKKOTEIDEN LIIKENNEKUSTANNUKSET

Pentti O. Karvonen

Tie- ja vesirakennushallitus

Tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellinen toimisto

Helsinki 5. 1. 1973

ISBN 951-46-0098-3

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

18988

ESIPUHE

Tämä tutkimus on suoritettu tie- ja vesirakennushallituksen tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellisessa toimistossa vuosina 1971 - 72. Tietojen kokoamisen, aineiston käsittelyn ja tutkimusraportin laatimisen on suorittanut tekn. yo (nyk. dipl.ins.) Pentti O. Karvonen. Työ on tehty myös diplomityönä teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosastolle professori Otto Wahlgrenin johdolla.

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

Sivu

YHTEENVETO

ENGLISH SUMMARY

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ERI VAIHEET	2
3. KELIRIKOSTA YLEISILLÄ TEILLÄ	4
3.1 Yleinen tieverkko	4
3.2 Liikennerajoitukset ja -kiellot	5
3.3 Liikennerajoitusten ja -kieltojen alaiset maantiet	6
3.4 Liikennerajoitusten laatu ja kesto aika	11
3.5 Liikennerajoitusten alaisten maanteiden liikenne- määrät	13
3.6 Kelirikon syntyyn ja kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä	14
3.7 Tiemestareiden kokemuksia kelirikosta ja liikenne- rajoituksista	15
4. LIIKENNEKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN	17
4.1 Yleistä liikennekustannuksista	17
4.2 Tiekustannukset	18
4.21 Rakennuskustannukset	18
4.22 Kunnossapitokustannukset	19
4.3 Ajokustannukset	20
4.31 Ajoneuvokustannukset	20
4.32 Aikakustannukset	22
4.33 Onnettomuuskustannukset	23
5. SUORITETUT AJOANALYSAATTORIMITTAUKSET JA SAADUT TULOK- SET	24
5.1 Tutkimusaineiston hankinta	24
5.2 Mittauskalusto	24
5.21 Ajoanalysaattori PP 6300	24
5.22 Tutkimusautot	27

5.3 Mittausten suoritustapa	30
5.4 Päällysteen kunnan vaikutus ajonopeuteen, poltto- aaineenkulutukseen ja ajokustannuksiin sorateilla	30
5.41 Tutkimusaineisto	30
5.42 Aineiston käsittely ja mallin laadun arvos- telu	33
5.43 Saadut tulokset	35
5.431 Ajonopeuden riippuvuus päällysteen kunnosta	36
5.432 Polttoaineenkulutuksen riippuvuus päällysteen kunnosta ja ajonopeudesta	36
5.433 Ajokustannusten riippuvuus päällys- teen kunnosta	40
5.5 Kelirikkoajan aiheuttamat ajokustannuslisät	43
5.6 Kuljettajan vaikutus ajokustannusten suuruuteen	49
5.7 Kuorma-autolla suoritettu vertaileva tutkimus	49
5.71 Tutkimusaineiston hankinta	49
5.72 Tutkimusaineiston käsittely ja saadut tulokset	50
5.721 Ajonopeuksien välinen yhteys	50
5.722 Polttoaineenkulutusten välinen yhteys	50
5.723 Ajoneuvo- ja aikakustannusten välinen yhteys	55
6. BENKELMAN-PALKILLA SUORITETUT KANTAVUUSMITTAUKSET KELIRIKKOTEILLÄ JA SAADUT TULOKSET	56
6.1 Tutkimusaineiston hankinta	56
6.2 Kantavuusmittausten suoritustapa ja mittaustark- kuus	56
6.3 Tutkimusaineiston käsittely	58
6.31 Mittaustulosten käsittely	58
6.32 Käytetyt tutkimusmenetelmät	58
6.33 Aineiston luotettavuus	60
6.4 Saadut tulokset sekä vertailu muihin tutkimuk- siin	61
6.41 Tien sijainnin vaikutus kantavuuden muuttu- miseen	61
6.42 Liikennerajoitusten määrittämisestä	67

6.43	Painorajoitusten vaikutus sorateiden kevät-	
	kantavuuteen	68
6.44	Liikenteen vaikutus kantavuuden alenemaan	69
6.45	Kantavuuden hajonta	70
6.46	Kelirikkoteiden kevätkantavuus ja kesäkanta-	
	vuus	72
6.47	Sora- ja kylmääällysteisten teiden kantavuus	74
7.	KELIRIKKOTEIDEN KUNNOSSAPITOTARKKAILU JA SEN TULOKSET	78
7.1	Tutkimusaineiston hankinta	78
7.2	Tutkimusaineiston käsittely	78
	7.21 Suoritteiden ja kustannusten määrittäminen	78
	7.22 Käytetyt tutkimusmenetelmät	79
7.3	Tutkimusaineiston luotettavuus	80
7.4	Saadut tulokset sekä vertailu muihin tutkimuksiin	80
	7.41 Painorajoitusten vaikutus kunnossapitokustan-	
	nuksiin	80
	7.42 Liikennemäärän vaikutus kunnossapitokustannuk-	
	siin	81
	7.43 Kantavuuden vaikutus kunnossapitokustannuksiin	82
	7.44 Vertailu muihin tutkimuksiin	84
	7.45 Höyläys- ja lanaustarpeeseen vaikuttavista te-	
	kijöistä	87
	7.46 Sorastustarpeeseen vaikuttavista tekijöistä	89
8.	PARANTAMISKUSTANNUKSET	92
9.	TUTKIMUSTULOSEN KÄYTTÖ INVESTOINTILASKELMISSA	94
9.1	Tien rakenteen parantamisvaihtoehtojen taloudelli-	
	nen tarkastelu	94
9.2	Kelirikkoisten teiden rakenteen parantamisesta ai-	
	heutuvien ajokustannus- ja kunnossapitokustannus-	
	säästöjen määrittäminen	95
	9.21 Tehdyt alkuoletukset	95
	9.22 Routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokus-	
	tannussäästöt	96
	9.23 Päällysteen parantamisesta aiheutuvat ajokus-	
	tannussäästöt	98
	9.24 Soratien päällystämisestä aiheutuvat ajokus-	
	tannussäästöt	100

9.25 Routivuuden poistamisesta aiheutuvat kunnossapitokustannussäästöt	100
9.26 Ajokustannus- ja kunnossapitokustannussäätöjen yhdistäminen	101
10. TULOSTEN TARKASTELUA	105

KIRJALLISUUSLUETTELO

LIITTEET

YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään kelirikon aiheuttamien liikennekustannusten riippuvuutta eri tekijöistä. Sen ohessa on tarkasteltu routivien teiden kantavuuden muuttumista kelirikkoaikana ja liikenteen sekä painorajoitusten vaikutusta kantavuuden muuttumiseen.

Ajokustannusten määrittämisessä tarvittavat nopeus- ja polttoaineenkulutusmittaukset on tehty ajamalla pääasiassa henkilöautolla eräillä valituilla, routivilla tieosilla. Ajoaika- ja polttoaineenkulutushavainnot on tulostettu ns. ajoanalyysaattorin avulla, joka mittaa ja tulostaa mm. hetkellisen nopeuden, kulutetun ajoajan ja polttoaineen sekä kuljetun matkan. Eräillä tutkimustieosilla suoritettut kantavuusmittaukset tehtiin Benkelman-palkkia käyttäen. Kelirikon aiheuttamien teiden kunnossapitokustannusten määrittämiseksi suoritettiin kunnossapitotarkkailua tutkimusteiden osalta. Tarvittavat liikennemäärätiedot on saatu vuoden 1970 yleisestä liikennelaskennasta.

Tutkimusaineistoa on käsitelty sekä manuaalisesti että käyttäen automaattista tietojenkäsittelyä, jonka avulla on pyritty löytämään regressiomalleja haluttujen suureiden selittämiseksi.

Soratien päällysteen kunnan todettiin vaikuttavan henkilöauton polttoaineenkulutukseen siten, että päällysteen kunnan ollessa erittäin heikon ääritapauksessa polttoaineenkulutus on n. 60 % suurempi kuin hyväkuntoisella päällysteellä. Ajokustannuksiin saatiin vastaavasti noin kolmasosan lisä.

Kelirikkoaikana liikenteen ajokustannuksiin tuleva lisä riippuu tien päällysteestä ja kelirikkoasteesta. 3 kk:n kelirikkoaikana henkilöauton polttoaineenkulutukseen tuleviksi keskimääräisiksi lisäksi kesäaikaan verrattuna saatiin: pinta-pehmenneillä sorateilla 13 %, lievästi routivilla sorateilla 22 %, erittäin routivilla sorateilla 32 %; lievästi routivilla öljysorateilla 12 % ja erittäin routivilla öljysorateilla 27 %. Henkilöauton ajokustannuksiin ko. aikana tuleviksi keskimääräisiksi lisäksi saatiin vastaavassa järjestyksessä lueteltuna sorateilla 5 %, 9 % ja 18 % sekä öljysorateilla 6 % ja 12 %.

Kelirikkoteiden kantavuuden todettiin alenevan voimakkaasti huhti- ja toukokuun aikana riippuen tien sijainnista. Painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen sorateiden kevät-kantavuus todettiin keskimäärin yhtä suureksi. Maan pohjoisosassa sijaitsevien sorateiden kantavuuden kasvua ei juuri voitu todeta heinäkuun puoleenväliin mennessä.

Kevätkelirikon aiheuttamat kunnossapitokustannukset olivat sorateilla yleensä alle 600 mk/km ja kaikkien sorateiden keskiarvoksi saatiin 329 mk/km. Sekä painorajoitettujen että ei-painorajoitettujen sorateiden kunnossapitokustannukset olivat keskimäärin yhtä suuret. Öljysorateilla kelirikon aiheuttamat kunnossapitokustannukset vaihtelivat varsin suuresti. Melko pienen aineiston keskiarvoksi saatiin 1207 mk/km

Kelirikkoisten teiden, varsinkin sorateiden, liikennemäärät ovat usein melko pieniä, jonka vuoksi kelirikon aiheuttamat ajo- ja kunnossapitokustannuslisät eivät muodostu kovinkaan suuriksi tien parantamiskustannuksiin verrattuna. Otettaessa kelirikon poistamisen aiheuttamien ajo- ja kunnossapitokustannussäästöjen lisäksi sorateilla huomioon heikentyneen päällysteen kunnon parantumisesta ja soratien päällystämisestä aiheutuvat ajokustannussäästöt voitiin todeta, ettei kelirikkoisen tien parantaminen yleensä osoittautunut näillä perusteilla kannattavaksi. Kelirikko aiheuttaa kuitenkin lisäksi mm. lisääntyneitä varastointi- ja korkokustannuksia, jos kuljetusten ajankohtaa joudutaan kelirikon vuoksi siirtämään, ja näiden kustannusten suuruus olisi myös pyrittävä selvittämään parantamisen kannattavuutta määritettäessä.

Henkilöautolla suoritettujen ajoanalysointorimittausten avulla saatuja keskimääräisiä tuloksia voitaneen pitää riittävän tarkkoina investointilaskelmia ajatellen. Raskaan ajoneuvon ajokustannusten selvittämiseksi kelirikkoisilla teillä olisi tässä tutkimuksessa eräillä tieosilla suoritettujen ajoanalysointorimittausten tyyppisiä tutkimuksia jatkettava. Todettakoon, että tässä tutkimuksessa on tarkasteltu routivuuden aiheuttamia kunnossapitokustannuksia vain kelirikkoajalla, joten routivuuden aiheuttamat kokonaiskunnossapitokustannukset ovat em. suuremmat.

ENGLISH SUMMARY

THE COSTS OF TRAFFIC AND MAINTENANCE ON ROADS DAMAGED BY FROST ACTION

The purpose of this study has been to investigate the dependence of operating costs of traffic and costs of maintenance on roads damaged by frost action in spring on various factors. In addition it has been studied how the bearing capacity of such roads changes in spring and what is the effect of traffic volume and restriction of total weight on bearing capacity.

The measurements of fuel consumption and running speed needed in calculations were made with a traffic impedance analyzer mounted a car. Costs of maintenance of roads caused by frost action were studied by gathering relevant information on some roads. The measurements of bearing capacity of some roads were made by Benkelman beams.

The empirical data was worked with a computer to form mathematical equations to explain certain matters. In the study it has been found out that on a gravel road, when the gravel surface was in a very bad condition, the operating costs of the car were about a third greater than on the gravel surface with good condition. In spring the operating costs of the car changed depending on the condition of the road and during three months they were on an average about 5...18 per cent greater on gravel roads and 6...12 per cent greater on oiled gravel roads compared with the operating costs in summer.

The measurements with Benkelman beams showed that the bearing capacity of the roads decreased very much during April and May depending on the location of the road in the country. Before the middle of July there was found no increase in bearing capacity of the gravel roads located in the northern part of the country.

On the gravel roads costs of maintenance caused by frost action were usually less than 600 Fmk per kilometre and the average showed to be 329 Fmk per kilometre. On the oiled gravel roads costs of maintenance concerned varied quite a lot and the average was 1 207 Fmk per kilometre.

The volume of traffic on roads damaged by frost action are usually quite small and therefore operating costs of traffic are not very great compared with the costs of improvement of roads. If only the savings in operating costs of traffic and in costs of maintenance of a road, which are to be gained by preventing frost action, were taken into consideration, it seemed that usually the improvement of a road was not economical.

1. JOHDANTO

Kelirikko ja sen aiheuttamat ongelmat olivat ennen 1960-lukua varsin tuttuja sekä tienkäyttäjille että tienpitäjille, sillä lähes koko tieverkko oli tällöin päällystämätöntä soratietä. Vielä nykyisinkin n. 2/3 tie- ja vesirakennuslaitoksen hoidossa olevista yleisistä teistä on sorapäällysteisiä paikallisteitä ja maanteitä, joista suurella osalla esiintyy keväisin roudan sulamisesta aiheutuvia vaurioita.

Kelirikkoaikana, joksi voidaan lukea roudan sulamisaika ja sen jälkeinen tien kuivumisaika, tien kantavuus usein alenee melko nopeasti vuoden alimpaan arvoonsa nousten jälleen tie-rakenteen kuivuessa. Kantavuuden alentuessa saattaisi tiellä liikennöivä raskas liikenne usein vaurioittaa tietä niin, että liikennöiminen tiellä vaikeutuisi huomattavasti tai tie kävisi täysin käyttökelvottomaksi myös kevyelle liikenteelle. Niinpä tienpitäjä joutuu turvautumaan liikennerajoituksiin ja -kieltoihin turvatakseen elintärkeiden kuljetusten mahdollisuuden ja välttyäkseen ylettömän suurilta kunnossapitokustannuksilta.

Tien routimisen vuoksi sekä tien kunnossapitokustannukset että tietä käyttävän liikenteen ajo- ja kuljetuskustannukset lisääntyvät.

Liikennerajoitusten vuoksi kasvavat ajokustannukset käytettäessä kiertoteitä ja kuljetuskustannukset ajettaessa vajailla kuormilla. Jos kuljetusten ajankohtaa joudutaan muuttamaan aiheutuu siitä taas lisääntyneitä varastointi- ja korkokustannuksia.

Kelirikkoisten teiden parantamistarpeen määrittämisen kannalta olisi kaikki routivuuden aiheuttamat lisäkustannukset pyrittävä selvittämään, joten kelirikkoisten teiden liikennekustannusten tunteminen on vain osa tarvittavasta tietomäärästä.

2. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ERI VAIHEET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kelirikkoisten teiden liikennekustannusten riippuvuutta eri tekijöistä sekä teiden kantavuuden riippuvuutta ajankohdasta, liikenne rajoituksista ja liikenteestä. Liikennekustannusten osalta keskitytään lähinnä kelirikosta johtuvien ajokustannusten ja kunnossapitokustannusten selvittämiseen. Tutkimuksen alussa esitetään lyhyt katsaus kelirikon laajuuteen ja kelirikon aiheuttamiin toimenpiteisiin sekä perusteet liikennekustannusten määrittämiseksi.

Tutkimuksen toteuttamisen vaihekaavio on esitetty kuvassa 1. Kelirikkoteiden ajo- ja kunnossapitokustannusten sekä kantavuuksien tutkimista varten muodostettiin otos liikenne rajoitusten alaisina olleista yleisistä teistä. Tutkimustieosien valinta suoritettiin vuoden 1971 maaliskuussa ja valintamenettely oli seuraava. Tie- ja vesirakennuspiirien laatimien vuosittaisten ns. kelirikkokarttojen avulla määritettiin sellaiset tiet, joilla ainakin kerran kolmen viimeksikuluneen vuoden aikana (vv.1968-1970) oli ollut liikenne rajoitus. Näistä teistä valittiin 4...5 tieosaa kustakin tie- ja vesirakennuspiiristä Keski-Suomen tv-piiriä lukuunottamatta, mistä valittiin 9 tieosaa ajoanalyysointimittauksien keskittämistä varten. Tässä lopullisessa valinnassa pyrittiin otokseen saamaan sellaisia tieosia, joilla v.1965 yleisen liikennelaskennan mukaan oli suurehko liikenne ja jotka sijaitsivat kunkin tie- ja vesirakennuspiirin alueella melko lähellä toisiaan kantavuuksimittauksien käytännöllisen suorittamisen vuoksi. Koska kelirikko tulee vaikeimpana esiin sorapäällysteisillä teillä, on suurin osa tutkimusteistä sorapäällysteisiä maanteitä. Tutkimustieosia valittiin 61 kpl, joista kaksi myöhemmin jouduttiin hylkäämään niiden poikkeuksellisen huonon kunnan vuoksi (soran kuljetusta).

Kelirikkoisten teiden ajokustannusten selvittämiseksi suoritettiin eräillä tutkimustieosilla ajoanalyysointimittauksia sekä henkilöautolla että kuorma-autolla keväällä ja kesällä v.1971. Ajoanalyysointimittauksia ei voitu suorittaa kaikilla tutkimustieosilla niiden suuren lukumäärän vuoksi. Kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten selvittämiseksi kerättiin

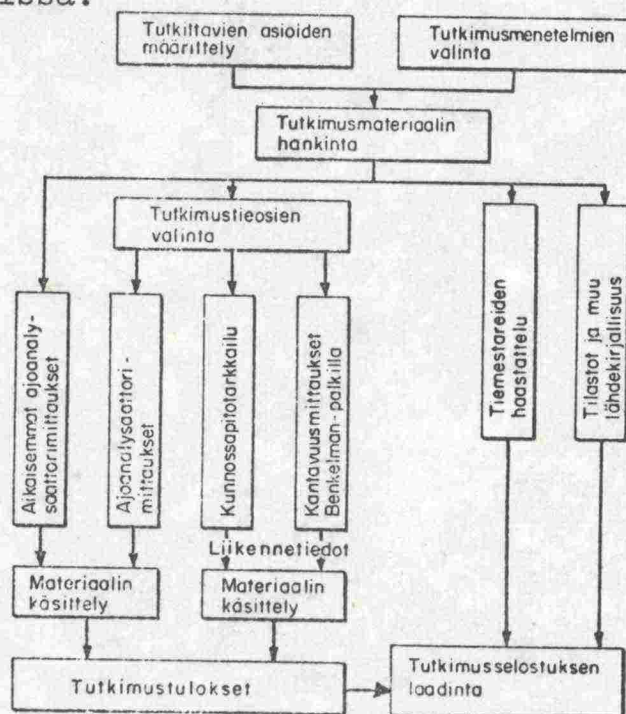
tutkimustieosilta tiemestaripiirien toimesta kunnossapidon suoritettietoja ajalta 1.4.-31.7.1971. Kelirikkoteiden kanta-
vuuden ja kantavuuden muuttumisen selvittämiseksi valittiin
jokaisen tie- ja vesirakennuspiirin alueelta eräitä otokseen
kuuluvia tieosia, joilla tv-piirien toimesta suoritettiin
kantavuusmittauksia Benkelman-palkkia käyttäen 6.4.-21.7.1971
välisenä aikana.

Aineiston lopullisessa käsittelyssä olleet 59 tieosaa^{on} esitetty
liitteessä 1, jossa lisäksi merkinnällä (x) on osoitettu tie-
osalla suoritettut mittaukset ja tutkimukset.

Kelirikon aiheuttamien lisääntyneiden ajokustannusten mää-
rittämisessä on lisäksi käytetty v. 1969 liitteessä 2 mai-
nituilla tutkimustieosilla suoritettujen ajoanalyysoittori-
mittausten tuloksia. Selvitettäessä päällysteen kunnan vai-
kutusta ajokustannuksiin sorateilla on vuoden 1971 aineis-
toa laajennettu ottamalla mukaan v. 1970 eräillä ns. kunnos-
sapidomenetelmätarkkailuteilla suoritettujen ajoanalyysoit-
torimittausten tuloksia sulan maan ajalta.

Aineiston käsittely suoritettiin osaksi manuaalisesti ja
osaksi automaattista tietojenkäsittelyä käyttäen. Menetel-
miä on selostettu lähemmin ao. kohdissa.

Suoritettujen mittausten ja kunnossapitotarkkailun lisäksi
katsottiin tarpeelliseksi kuulla tiemestareiden kokemuksista
kelirikosta ja liikennerajoitusten käytöstä. Tämä toteutet-
tiin suorittamalla henkilökohtaisia haastatteluja eräissä
tiemestaripiireissä.



Kuva 1. Tutkimuksen vaihekaavio

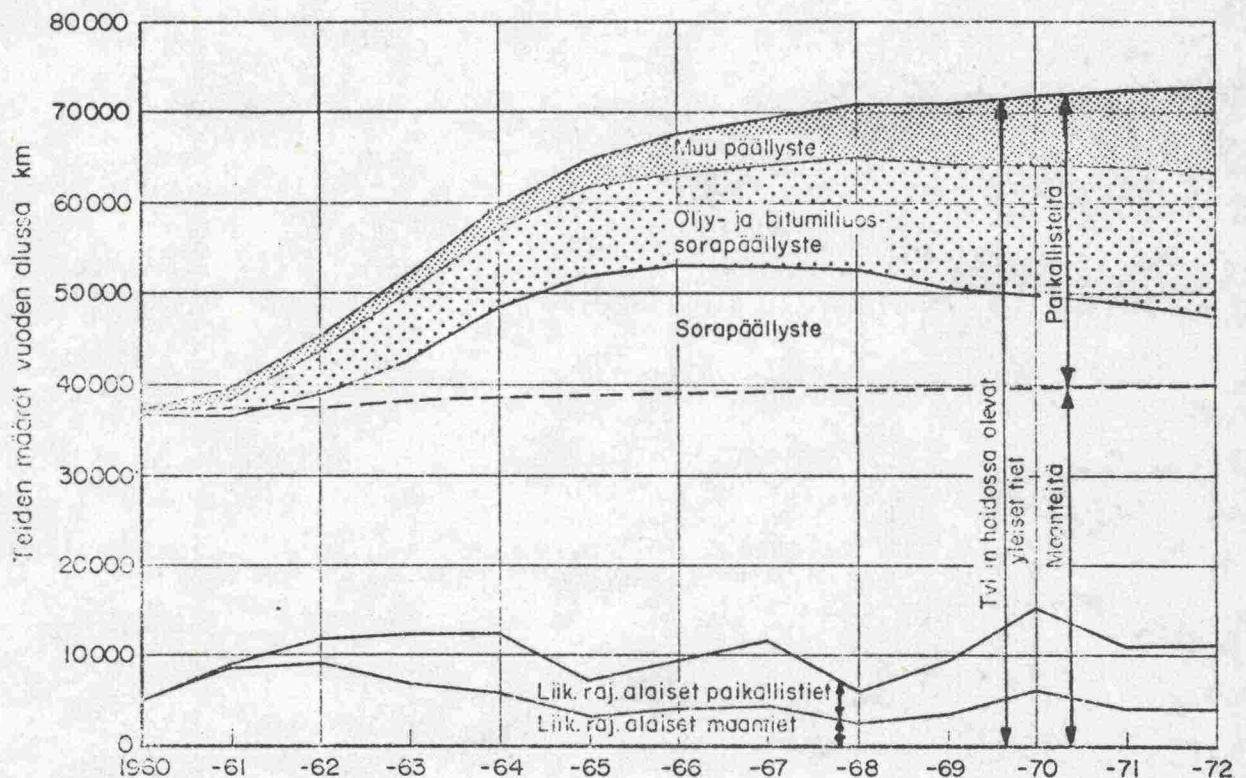
3. KELIRIKOSTA YLEISILLÄ TEILLÄ

3.1 Yleinen tieverkko

Tvl:n hoidossa olevat yleiset tiet jakaantuivat vuoden 1972 alussa seuraavasti /23/:

valtateitä	6761 km
kantateitä	3139 km
muita maanteitä	30144 km
paikallisteitä	32701 km
yleisiä teitä yhteensä	72745 km

Valta- ja kantateiden yhteenlaskettu pituus on kasvanut vuodesta 1960 vuoteen 1972 330 km, muiden maanteiden pituus on kasvanut 3956 km ja paikallisteiden pituus on kasvanut 32808 km entisten kunnan- ja kyläteiden siirryttyä asteittain tvl:n hoitoon paikallisteiksi. Vuoden 1972 alussa oli maanteitä 40046 km ja paikallisteitä 32701 km. Kuvassa 2 on esitetty tvl:n hoidossa olevan yleisen tieverkon pituus vv. 1960-1972 sekä päällystettyjen teiden osuus tieverkosta /14//15/.



Kuva 2. Tvl:n hoidossa olevien teiden määrät vuosien 1960-72 alussa ja liikennerajoitusten alaisten teiden määrä ko. vuoden keväällä.

Päällystettyä tietä oli tvl:n hoidossa v.1972 alussa 25172 km. Päällystetilanne oli eri tieluokissa seuraava: valtateistä n. 96%, kantateistä n. 82%, muista maanteistä n. 44% ja paikallisteistä n. 6% päällystettyjä /23/. Sorapintaisia paikallisteitä ja muita maanteitä oli siten n. 2/3 koko tvl:n hoidossa olevan tieverkon pituudesta. Suuri osa juuri näistä teistä on keväisin liikennerajoitusten alaisena.

3.2 Liikennerajoitukset ja -kiellot

Liikennerajoituksia ja -kielloja voidaan käyttää teiden vaurioitumisen estämiseksi 21.5.1954 annettuun lakiin yleisistä teistä nojautuen. Em. lain 59 § kuuluu: "Jos ajoneuvoilla kulkeminen saattaa vaurioittaa tietä, joka roudan sulamisen tai sateen vuoksi tahi muusta tällaisesta syystä on rakenteeltaan heikentynyt, voi lääninhallitus taikka, tienpitoviranomaisen esityksestä, paikallinen poliisiviranomainen toistaiseksi tai määräajaksi kieltää tiellä tai sen osalla sellaisen liikenteen tai rajoittaa sitä. Poliisiviranomaisen päätös, jolla kiello on annettu, on viivytyksettä alistettava lääninhallituksen tutkittavaksi".

Tie- ja vesirakennushallituksen piirikonttoreille antamissa ohjeissa / 22 / piirikonttoreita kehoitetaan keli-rikottapausten uhatessa tekemään ao. lääninhallituksille esityksiä tarpeellisten liikennerajoitusten ja -kiellojen määrittämiseksi sekä samalla varaamaan tieviranomaisille oikeus saada harkintansa mukaan myöntää eräissä välttämättömissä yksityistapauksissa poikkeuksia lääninhallituksen antamasta päätöksestä. Samalla kehoitetaan käyttämään eriasteisia liikennerajoituksia ja -kielloja yhdenmukaisuuden vuoksi seuraavasti:

- | | |
|-----------------------------------|-------|
| 1) Täyskiello | |
| 2) Ajoneuvon suurin kokonaispaino | 3.0 t |
| 3) " " " | 6.0 t |
| 4) " " " | 8.0 t |

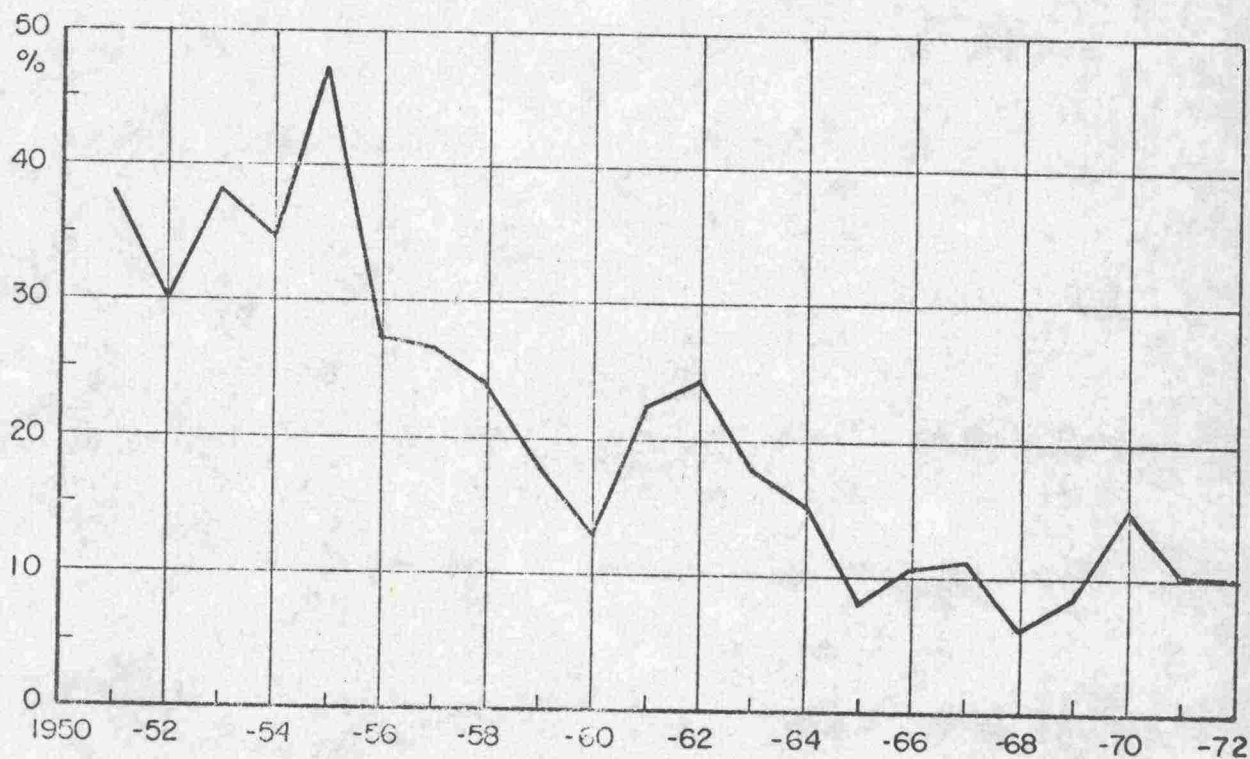
Käytännössä liikennerajoitusten ja -kiellojen tarve arvioidaan tiemestaripiirien toimesta, esitykset lähetetään piirikonttoreille ja sieltä edelleen lääninhallituksille.

3.3 Liikennerajoitusten ja -kieltojen alaiset maantiet

Tilastotietoja kelirikkoisista maanteistä on saatavissa 1950-luvun alusta lähtien; paikallisteiltä on yhdistelmätilastoja vuodesta 1967 alkaen. Tässä luvussa käsitellään kelirikkoa lähinnä maanteiden osalta niistä saadun laajemman tietomäärän vuoksi. Kuvassa 3 on esitetty kaikkien kelirikkoaikana liikennerajoitusten ja -kieltojen alaisina olleiden maanteiden määrä %:na maantieverkon koko pituudesta vuosina 1951-1972 /24/. Maanteiden yhteenlaskettu pituus on tänä aikana kasvanut n. 33000 km:stä 40000 km:iin. Eniten rajoituksia on em. aikajaksolla ollut v. 1955 rajoitusprosentin ollessa 47.2 % (16020km) ja vähiten v.1968 rajoitusprosentin ollessa 6.4 % (2509 km).

Vuosien 1953-1972 välisen 20 vuoden aikajakson ensimmäisellä 10-vuotiskaudella oli maanteiden em. tavalla määritetty rajoitusprosentti keskimäärin 28 %. Jälkimmäisellä 10-vuotiskaudella rajoitusprosentti oli enää keskimäärin 11 %, joten rajoitusten määrä oli vähentynyt alle puoleen edelliseen 10-vuotiskauteen verrattuna.

Kuvassa 2 on esitetty liikennerajoitusten ja -kieltojen alaisen maanteiden ja paikallisteiden määrä vuosina 1960-1972.



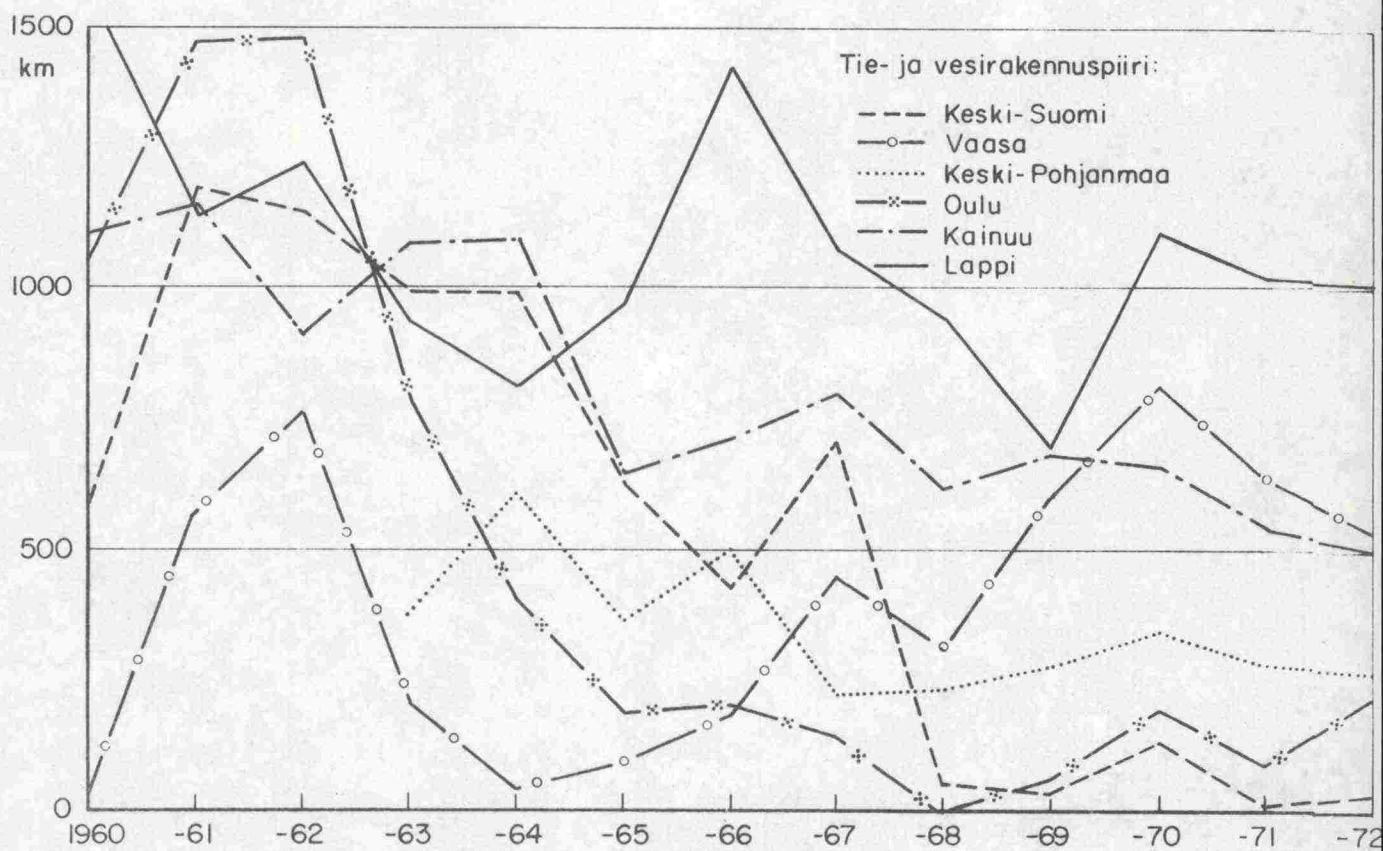
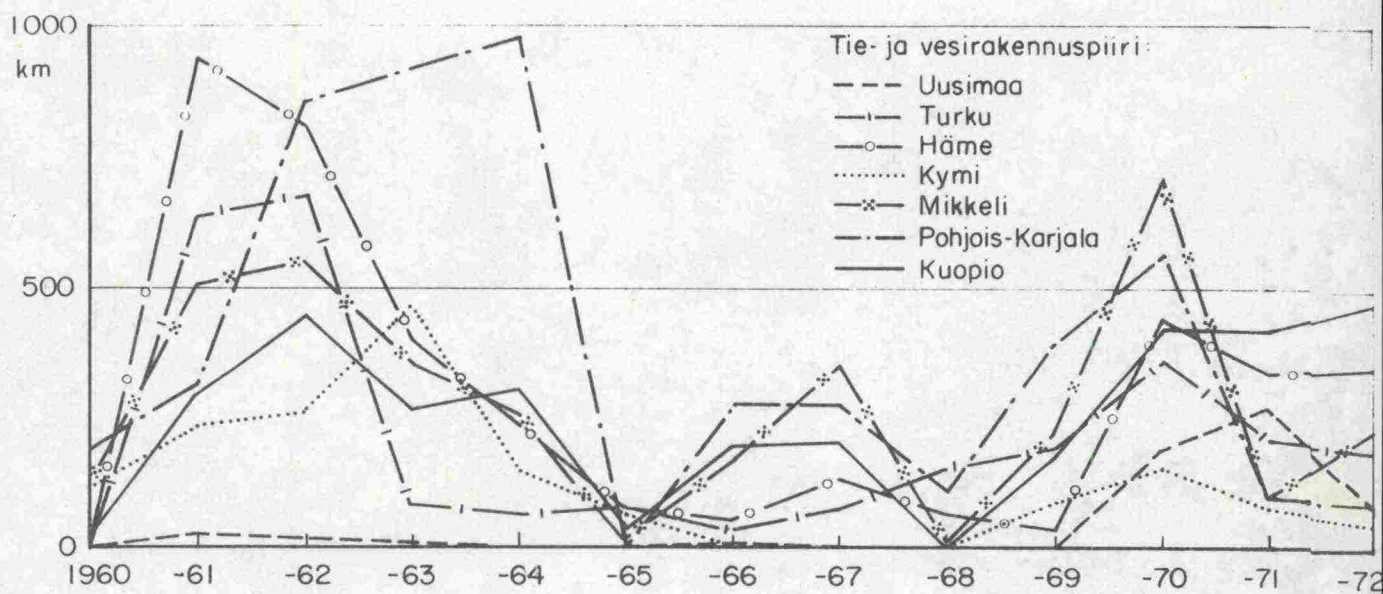
Kuva 3. Vuotuiset liikennerajoitusten alaiset maantiet %:na maantieverkon koko pituudesta vuosina 1951-1972

Liikennerajoitusten alaisten paikallisteiden määrien voidaan todeta olleen 1960-luvun puolivälin jälkeen jonkin verran suurempia kuin liikennerajoitettujen maanteiden määrien.

Kelirikkoaikana liikennerajoitusten alaisina olleiden paikallisteiden prosenttinen osuus kaikista paikallisteistä on kuuden vuoden aikajaksolla 1967-1972 ollut noin kaksinkertainen maanteiden vastaavaan prosenttilukuun verrattuna.

Tutkittaessa liikennerajoitusten alaisten maanteiden jakaantumista maan eri puolille voidaan tilannetta tutkia määrittämällä tie- ja vesirakennuspiireittäin rajoitusten alaisten maanteiden kokonaismäärä ja laskemalla rajoitusten alaisten maanteiden osuus ko. tv-piirin koko maantieverkon pituudesta eri vuosina.

Kuvassa 4 on esitetty liikennerajoitusten ja -kieltojen alaisten maanteiden määrä eri tv-piireissä vuosina 1960-1972 kelirikko-tilastojen mukaan. Liikennerajoitusten alaisten maanteiden määrä on ollut vuosina 1965-1972 alle 500 km kaikissa muissa tv-piireissä paitsi Lapin, Kainuun, Vaasan ja Keski-Suomen tv-piireissä sekä vuonna 1970 Mikkelin ja Pohjois-Karjalan tv-piireissä. Keski-Pohjanmaan tv-piirin muodostaminen osasta Vaasan, Oulun ja Kainuun tv-piirejä v.1963 näkyy kahden ensiksi mainitun osalta liikennerajoitetun maantiemäärän selvänä alenemisena.



Kuva 4. Liikennerajoitusten alaisten maanteiden määrä eri tie- ja vesirakennuspiireissä vv. 1960 - 1972

Laskemalla tie- ja vesirakennuspiirien sekä koko maan maanteiden rajoitusprosenttien (kelirikkoaikana liikennerajoitettujen maanteiden yhteenlasketun kilometrimäärän osuus maanteistä) keskiarvot viimeisten viiden vuoden (1968-1972) ajalta saatiin piirien rajoitusprosenttien mukaiseksi järjestykseksi seuraava:

Tie- ja vesi- rakennuspiiri	Rajoitusprosenttien keskiarvo (1968-1972)
Keski-Suomi	2.2
Kymi	3.4
Oulu	3.7
Uusimaa	4.5
Turku	4.6
Häme	6.2
Mikkeli	9.7
Kuopio	10.3
Pohjois-Karjala	10.3
Keski-Pohjanmaa	13.7
Vaasa	14.9
Lappi	20.6
Kainuu	23.8
Koko maa	10.2

Suhteessa maantieverkon pituuteen Kainuun ja Lapin tie- ja vesirakennuspiirit ovat käyttäneet liikennerajoituksia huomattavasti enemmän kuin muut tv-piirit. Seitsemän tie- ja vesirakennuspiirin keskim. rajoitusprosentit ovat olleet alle 10 % ko. viisivuotiskautena.

Liikennerajoitusten käytöstä muissa maissa esitettäköön tässä eräitä tietoja kelirikkoajan liikennerajoituksista Ruotsissa /29/. Vuosien 1958-1967 välisenä 10-vuotisjaksona liikennerajoitusten alaisina olleiden teiden prosenttinen määrä pahimpana kelirikkoaikana oli Ruotsin pohjoisosassa keskimäärin 35-40 %, keskiosassa 15-40 % ja eteläosassa 0-15 %.

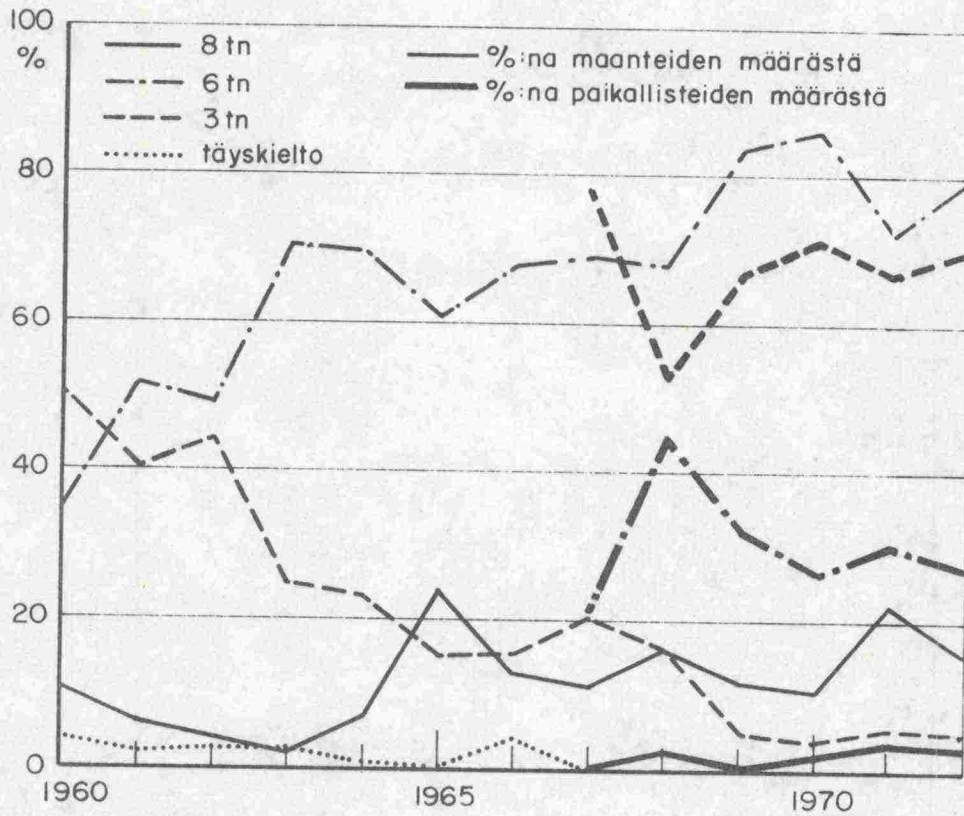
1960-luvulla rajoitusprosentit (pahimpana kelirikkoaikana samanaikaisten liikennerajoitettujen teiden määrä prosentteina kaikista yleisistä teistä) vaihtelivat Ruotsissa välillä 8.3...19.9 % keskiarvon ollessa ensimmäisellä 5-vuotiskaudella 13.5 % ja toisella 17.2 %. Mitään laskua rajoitusprosenttien suuruudessa ei 1960 luvulla voida todeta, vaan pikemminkin liikennerajoitusten käyttöä on lisätty tien vaurioitumisen estämiseksi tai ainakin lieventämiseksi. Liikennekieltoja on todettu noudatettavan paremmin kuin painorajoituksia ja lyhytaikaisilla liikennekielloilla on arvioitu saavutettavan usein huomattavia kansantaloudellisia säästöjä.

3.4 Liikennerajoitusten laatu ja kesto aika

Liikennerajoitusten alaisten maanteiden ja paikallisteiden jakaantuminen eri rajoituslaatuihin on kelirikko tilastojen /24/ mukaan kuvan 5 mukainen. Nykyisin yleisimmin käytetty rajoitus maanteilla on 6tn:n painorajoitus, jonka osuus kaikista rajoituksista on n. 70...85%. 3tn:n painorajoitusten käyttö maanteilla on vähentynyt jyrkästi 1960-luvun aikana ja niiden osuus on nykyisin enää n. 5%. 1950-luvulla vaihteli 3tn:n painorajoitusten osuus maanteilla 35...60%:in ja 6tn:n painorajoitusten osuus 30...45%:in /5/. 8tn:n painorajoitusten prosenttisen osuuden ja maanteiden rajoitusprosentin voidaan aina 1950-luvun alkupuolelta lähtien todeta riippuvan toisistaan siten, että rajoitusprosentin pienentyessä 8tn:n painorajoitusten suhteellinen osuus kasvaa. Tämä osoittaa sen, että painorajoitusten käytössä on kelirikon vaikeusaste ainakin jossain määrin otettu huomioon. Täyskieltoa maanteilla ei ole käytetty vuoden 1967 jälkeen muutamaa kilometriä lukuunottamatta; 1950-luvulla täyskieltojen osuus vaihteli 5...20%:iin. Liikennerajoitusten käytössä maanteilla on siirrytty siten suurempien kokonaispainojen sallimiseen 1960-luvun aikana.

Paikallisteilla on yleisimpänä rajoituslaatuna vv.1967-1972 käytetty 3tn:n painorajoitusta, jonka osuus on viimeisten neljän vuoden aikana ollut n. 65...70%. 6tn:n painorajoitusten osuus on vastaavasti ollut paikallisteilla n.25...30% ja 8tn:n painorajoitusten alle 5%.

Vuosittaisten liikennerajoitusten alaisten teiden yhdistelmä-lomakkeissa /24/ on tie- ja vesirakennuspiireittäin ilmoitettu se aikaväli, milloin eri rajoituslaatuja on käytetty. Tiekoh- taisia rajoitusten kesto aikoja ei tilastoista ole saatavissa. Lähteessä /5/ on tarkasteltu piireittäin ja koko maan osalta maanteiden liikennerajoitusten kesto aikoja vv.1952-1967. Liikennerajoituksen kesto ajalla on tarkoitettu aikaa vuorokausissa siitä päivästä, kun tv-piirissä tai koko maassa on asetettu ensimmäinen liikennerajoitus, siihen päivään, jolloin viimeinen liikennerajoitus on vastaavasti poistettu.



Kuva 5. Eri rajoituslaatujen osuus liikennerajoitusten alaisten maanteiden määrästä vv. 1960 - 1972 ja liikennerajoitusten alaisten paikallisteiden määrästä vv. 1967 - 1972.

Koko maan osalta on pisin liikennerajoitusten kesto aika ollut 131 vrk (v.1961) ja lyhin 69 vrk (v.1965) keskiarvon ollessa 92 vrk.

Eri tie- ja vesirakennuspiirien liikennerajoitusten kesto aikojen keskiarvot (v.1952-1967) vaihtelivat 27 vrk:sta (Uusimaa) 70 vrk:een (Oulu) kaikkien tv-piirien keskiarvon ollessa 48 vrk. Ensimmäisten liikennerajoitusten asettamisajankohta vuosina 1952-1967 koko maassa on vaihdellut 8.3.-16.4. välisenä aikana ja vastaavasti kaikkien liikennerajoitusten poistamisajankohta on vaihdellut 17.6.-23.7. välisenä aikana / 5 /.

Laskemalla vuosittain eri tv-piirien liikennerajoitusten kesto aikojen keskiarvot on ^{näin saatu} koko maan liikennerajoitusten keskim. kesto aika vaihdellut välillä 39-69 vrk keskiarvon ollessa 48vrk. Em. tavalla koko maalle määritetty liikennerajoitusten keskim. kesto aika on noudatellut maanteiden rajoitusprosenttia siten, että rajoitusprosentin pienetessä em. kesto aika on yleensä lyhentynyt.

Vuosilta 1962-1971 laaditun maanteiden päivittäisten liikennerajoitusten prosenttisen määrän keskiarvokäyrän mukaan liikennerajoitusten määrä koko maassa kasvaa nopeasti huhtikuun 5.päivän jälkeen nousten maksimiin huhti-toukokuun vaihteessa. Tämän jälkeen em. koko maan prosenttiluku alkaa laskea loivasti siten, että se on n. puolet maksimiprosentista toukokuun 25.päivän aikoihin ja 0% heinäkuun alkuun mennessä /24/.

3.5 Liikennerajoitusten alaisten maanteiden liikennemäärät

Liikennerajoitusten alaisten maanteiden liikennemääriä on tarkasteltu lähteessä / 5 / vuoden 1965 yleisen liikennelaskennan tulosten perusteella. Vuosina 1965, 1966 ja 1968 liikennerajoitusten alaisina olleet maantiet on siinä jaettu tv-piireittäin eri liikennemääräluokkiin. Laskemalla luokkien keskiarvot ko. kolmen vuoden ajalta saadaan liikennerajoitusten alaisten maanteiden prosenttinen jakautuma eri liikennemääräluokkiin koko maassa:

KVL, YL-65 (hay)	%:na liikennerajoitusten alaisista maanteistä
0- 99	16
100- 199	30
200- 299	25
300- 399	14
400- 599	9
600- 799	2
800-1199	2
1200-	2

Tarkastelu osoittaa, että yli 2/3:lla liikennerajoitusten alaisista maanteistä on KVL ollut alle 300 hay / vrk.

3.6 Kelirikon syntyyn ja kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä

Hienorakeisissa maalajeissa huokosissa olevan veden jäätyminen muuttaa maahiukkasten pinnalla olevien vesivaippojen tasopainotilaa, mistä johtuen vettä alkaa imeytyä jäätyvään vyöhykkeeseen, jolloin maamassan tilavuus ja vesipitoisuus kasvavat /17/. Tätä kutsutaan routimiseksi ja tierakenteissa se havaitaan talvisin epätasaisuuksina tien pinnassa. Keväällä roudan sulaessa maahan vapautuu paljon vettä, jolloin maan kantavuus pienenee usein huomattavasti ja vanhoilla ns. rakentamattomilla teillä (tie, jolla ei ole varsinaisia rakennekerroksia), esiintyy usein routapuhkeamia.

Routimisen yleisenä edellytyksenä voidaan mainita /17/:

- 1) Routiva maalaji eli sellainen maa, mikä pystyy kapillaarisesti sitomaan itseensä runsaasti vettä ja jonka läpäisykyky on riittävän suuri sallimaan veden nopean liikkeen kohti routarajaa.
- 2) Sopivan vesivaraston läheisyys. Tavallisesti kyseessä on pohjavesi ja kapillaarisen veden kyllästävä vyöhyke sen yläpuolella.
- 3) Riittävä pakkasmäärä. Edullisimmat olosuhteet jäälinssien syntymiselle on silloin, kun 0-isotermi tunkeutuu maahan hitaasti.

Mikäli jokin edellä mainituista tekijöistä puuttuu, ei routimiselle ole edellytyksiä.

Roudanlähtö, joka vaikeita vaurioita aiheuttaessaan muuttuu kelirikoksi, pahenee ilmasto-olosuhteiden ollessa seuraavan tapaisia / 4 /:

- 1) Maanteiden hidas routaantuminen syksyllä aiheuttaa runsaan veden kerääntymisen tien yläosiin.
- 2) Pitkän ja leudon talven aikana ehtii vettä varastoitua runsaammin tien runkoon kuin pitkän ja ankaran talven aikana. Ankaran talven jälkeen roudan sulaminen keväällä kestää kauemmin ja samalla alentuneen kantavuuden kesto aika, vaikka kantavuuden alenema ei olisikaan määrältään kovin suuri, on pitempi kuin leudon talven jälkeen.
- 3) Pakkaskauden keskeyttävät sulamiskaudet lisäävät ylhäältä päin imeytyvän veden määrää tien runkoon ja ovat siten kelirikkoa edistäviä.
- 4) Runsas sademäärä roudan sulamisaikana edistää kelirikon syntymistä ja kehittymistä.

3.7 Tiemestareiden kokemuksia kelirikosta ja liikennerajoituksista

Yksityiskohtaisten tietojen saamiseksi kelirikosta ja liikennerajoitusten käyttöperusteista päätettiin kääntyä tiemestareiden puoleen ja suoritettiin henkilökohtaisia haastatteluja kesällä v.1971 suoritettujen ajoanalysointorimittausten yhteydessä. Seuraavassa on esitetty tiivistelmä 11 tiemestarin (yhdeksästä tv-piiristä) haastattelun tulokset:

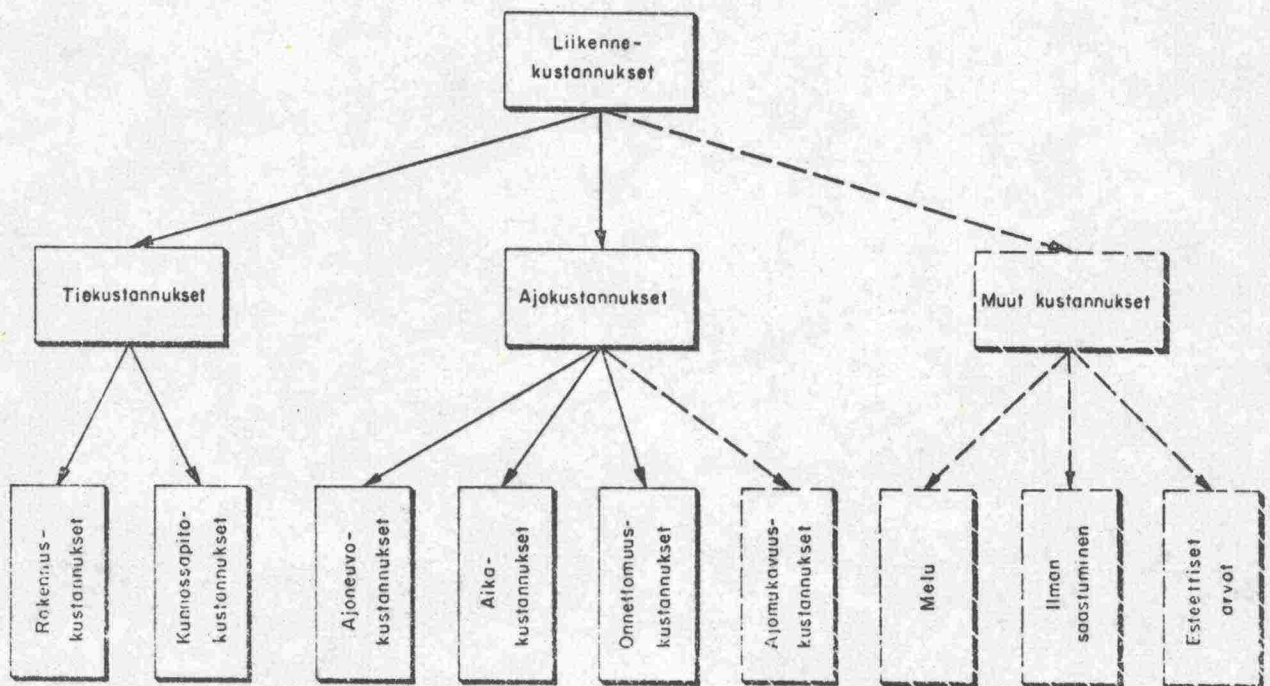
- pintakelirikko alkaa yleensä 15.4.-20.4. välisenä aikana kaikkialla maassa
- kelirikkoaika päättyy keskimäärin kesäkuun lopun ja heinäkuun lopun välisenä aikana
- kelirikko on tavallista pahempi, kun ilmasto-olosuhteet ovat seuraavan tapaisia: sateinen syksy; maanpinta syksyllä kauan lumeton ja märkä maa jäätyy hitaasti ja / tai jaksottaisesti; lauha talvi; lumi sulaa nopeasti keväällä
- tiemestari yleensä päättää liikennerajoitusten asettamisesta
- liikennerajoitus asetetaan tielle vasta sitten, kun routapuhkeamia on todettu, ja poistetaan, kun tiellä on enää muutamia routapuhkeamia, jotka voidaan hoitaa kunnossapidon avulla

- raskas liikenne rikkoisi tien pinnan usein yhden päivän kuluessa, jos painorajoitus otettaisiin pois pahimpana kelirikko-aikana
- yleensä tiellä on sama rajoituslaatu koko kelirikkoajan ja rajoitukset poistetaan teiltä tiekohtaisesti
- tien asettamisesta liikennerajoituksen alaiseksi ilmoitetaan usein sanomalehdissä vain päivää ennen rajoituksen voimaantuloa
- liikennerajoitusten voimassaoloaika ilmoitetaan joko tarkasti tai vain "toistaiseksi"
- puutavaraa, lannoitteita ja nestemäisiä polttoaineita pyritään kuljettamaan "etukäteen" kelirikon vuoksi, ei kuitenkaan huomattavassa määrin
- meijeriautojen, myymäläautojen ja linja-autojen sallitaan liikennöidä painorajoitetuilla teillä
- tilapäisen luvan saada käyttää liikennerajoituksen osoittamaa kokonaispainoa suurempaa kokonaispainoa rajoituksen alaisella tiellä myöntää yleensä tiemestari
- liikennerajoituksia rikotaan melko harvoin, jolloin kyseessä useimmiten puutavaran kuljetus
- liikennerajoitusten noudattamista valvovat tiemestaripiirin henkilökunta ja poliisi; joskus annetaan sakkorangaistuksia
- soraa, puutavaraa ja nestemäisiä polttoaineita kuljetetaan kiertoteitä käyttäen; matkan pidennys ei yleensä ole huomattava
- kelirikkoisen soratien sorakerroksen paksuus on keskimäärin 10...15 cm; sorastus suoritetaan useimmiten joka vuosi, usein jopa 40...100 l-m³/km vuodessa
- jotta liikennerajoituksia ei tiellä tarvitsisi käyttää, olisi se perusparannettava; tavanomainen kunnossapito ei riitä

4. LIIKENNEKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

4.1 Yleistä liikennekustannuksista

Tieliikennekustannukset voidaan jakaa seuraaviin kustannuskomponentteihin: tiekustannukset, ajokustannukset ja muut kustannukset (kuva 6). Liikennekustannukset olivat Suomen maanteilla ja paikallisteilla v.1965 n. 2450 milj.mk, josta tierakennuskustannusten osuus oli 19 %, kunnossapitokustannusten osuus 8 % ja ajokustannusten osuus 73 % /26/. Rakennus- ja kunnossapitokustannuksiin on em. laskelmassa otettu mukaan vain tvl:lle aiheutuneet kustannukset ja ajokustannukset on arvioitu karkeasti vuoden 1965 yleisen liikennelaskennan perusteella. Vuonna 1971 olivat tvl:n menot yleisten teiden tekemiseen 495 milj.mk ja yleisten teiden kunnossapitoon 264 milj.mk (ilman hallinto- ja kaluston pääomakustannuksia) /20/.



Kuva 6. Liikennekustannusten muodostuminen.

4.2 Tiekustannukset

4.21 Rakennuskustannukset

Rakennuskustannuksiin luetaan kaikki ne kustannukset, jotka aiheutuvat jonkin uudisrakennus- tai parannushankkeen toteuttamisesta. Rakennuskustannukset voidaan jakaa seuraaviin kustannusryhmiin / 9 /:

- 1 suunnittelukustannukset
- 2 tiealueen lunastuskustannukset
- 3 rakentamiskustannukset
- 4 korkokustannukset rakennusvaiheen aikana
- 5 lisääntyneet ajokustannukset rakennusvaiheen aikana

Tarkasteltaessa em. kustannusryhmien keskinäistä suuruutta voidaan esittää seuraavia eri kustannusryhmien likimääräisiä prosenttisia osuuksia rakennuskustannuksista /31/: suunnittelukustannukset 2.5...6.0 %; rakentamiskustannukset 85...95 % (vaihdellen kuitenkin suurissa rajoissa) ; rakennusvaiheen aikaiset korkokustannukset 10...15 %. Tiealueen lunastuskustannukset vaihtelevat erittäin paljon alueen maankäytöstä riippuen. Lisääntyneet ajokustannukset rakennusvaiheen aikana jäävät yleensä melko pieniksi ja niiden suuruus useimmiten arvioidaan tieliikennetaloudellisissa laskelmissa karkeasti jollakin likimääräismenettelyllä.

Edellä on esitetty rakennuskustannusten jakautumista lähinnä uudisrakennusten kannalta. Tienparannustöiden yhteydessä suunnittelukustannusten osuus jäänee pienemmäksi kuin edellä on esitetty ja myös tiealueen lunastuskustannusten osuus parannuskustannuksista jää yleensä varsin pieneksi.

4.22 Kunnossapitokustannukset

Tien ja siihen liittyvien laitteiden kunnossapito aiheuttaa kustannuksia, jotka muodostavat osan tien ns. juoksevista vuosikustannuksista. Yleisten teiden kunnossapito jakautuu nykyisin kolmeen osaan:

- varsinainen kunnossapito
- tehostettu kunnossapito
- tienpäällysteiden uusiminen

Varsinainen kunnossapito jakautuu kahteen pääryhmään: kesä- ja talvikunnossapitoon. Kesäkunnossapitoon luetaan kuuluvaksi mm. seuraavat tehtävät: tiealueen kuivanaapito, tierungon vaurioiden korjaaminen ja tien kantavuuden parantaminen, kulutuskerroksen kunnossapito, liikenteen ohjaus- ja turvalaitteiden kunnossapito. Talvikunnossapidon tärkeimmät tehtävät ovat lumen ja jään poistaminen sekä liukkauden torjunta.

Tehostettu kunnossapito sisältää sellaiset vähäiset tien laatutason parantamistoimenpiteet, joilla edesautetaan tiestön pitämistä kasvavan liikenteen vaatimusten edellyttämällä tasolla ja jotka suoritetaan kunnossapito-organisaation toimesta. Tehostettu kunnossapito kohdistuu lähinnä sellaisiin sorateihin, jotka liikennemäärän suuruuden johdosta on taloudellista päällystää öljy- tai bitumiliuossoralla tai joilla routivuuden tai muun syyn johdosta kunnossapito- ja ajokustannukset muodostuvat poikkeuksellisen suuriksi.

Tienpäällysteiden uusiminen käsittää lähinnä kulumisesta johtuvan kestopäällysteen uusimista.

V.1971 jakaantuivat tvl:n yleisten teiden kunnossapitomenot hallinto- ja pääomamenot mukaan lukien seuraavasti /20/ :

varsinainen kunnossapito	245 milj.mk
tehostettu kunnossapito	16 milj.mk
kestopääll. uusiminen	34 milj.mk
muut kustannukset	8 milj.mk

4.3 Ajokustannukset

Ajokustannukset ovat tienkäyttäjille aiheutuvia kustannuksia. Tvl:n tieinvestointilaskentaohjeissa / 9/ ajokustannusten katsotaan koostuvan ajoneuvo-, aika- ja onnettomuuskustannuksista (kuva 6). Tässä tutkimuksessa ajokustannukset on laskettu käyttäen lähdettä "Ajokustannuslaskelmien uusista perusteista" /1/, jossa tieinvestointilaskentaohjeiden ajokustannuskomponentit on saatettu vastaamaan paremmin nykyistä tilannetta.

Ajokustannuksiin voidaan katsoa liittyvän läheisesti em. kustannuskomponenttien lisäksi mm. ajomukavuus, jonka rahana mitattavaa arvoa ei ole vielä kuitenkaan määritetty, joten sitä ei voida ottaa mukaan ajokustannuksiin. Tässä tutkimuksessa ajomukavuuskustannusten huomioiminen olisi ehkä tullut kyseeseen.

4.31 Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannukset jaetaan seuraaviin kustannusryhmiin / 1/:

- A polttoaine- ja voiteluainekustannukset
- B rengaskustannukset
- C korjaus- ja huoltokustannukset
- D kuoletuskustannukset

Tieinvestointilaskelmissa käytettävien tyyppiajoneuvojen ominaisuuksia / 1/ on esitetty kohdan 5.22 taulukoissa 4 ja 5, missä mittausautojen ominaisuuksia on verrattu tyyppiajoneuvojen ominaisuuksiin. Taulukossa 1 on esitetty tyyppiajoneuvojen ajoneuvokustannuskomponenttien yksikkäarvot verottomina (yhteiskuntataloudellisina) vuosille 1970 ja 1980 ihanteellisissa tieolosuhteissa nopeuden ollessa 40 km/h (perusarvot) ja keskimääräisissä tieliikenneolosuhteissa /1/.

Taulukko 1 . Kevyen tyyppiajoneuvon ja raskaan tyyppiajoneuvon ajoneuvokustannukset (p/ajon.km) verottomina ihanteellisissa tieolosuhteissa (v = 40 km/h) ja keskimääräisissä tie- ja liikenneolosuhteissa / 1/.

Kustannuserä	Kevyt tyyppiajoneuvo				Raskas tyyppiajoneuvo			
	v.1970		v.1980		v.1970		v.1980	
	ihant.	keskim.	ihant.	keskim.	ihant.	keskim.	ihant.	keskim.
Polttoaine	1.51	2.64	1.74	2.90	3.47	5.51	4.46	7.08
Voiteluaine	0.28	0.48	0.31	0.53	0.77	1.21	0.97	1.43
Renkaat	0.35	0.70	0.37	0.74	3.04	4.93	3.38	5.48
Korjaus- ja huolto	2.24	3.29	2.64	3.87	4.09	6.88	5.00	8.30
Kuoletus	4.13	4.13	5.73	5.73	11.28	11.28	12.40	12.40
Yhteensä	8.51	11.24	10.79	13.77	22.65	29.81	26.21	34.69

Ajoneuvokustannusten kustannuskomponenttien A, B ja C oletetaan muuttuvan samassa suhteessa kuin polttoaineenkulutus ja kustannusryhmää D pidetään vakiona / 1/. Ajoneuvokustannusfunktio voidaan tällöin kirjoittaa muotoon:

$$Ank = \frac{p}{p_0} (A + B + C) + D$$

jossa, Ank on ajoneuvokustannus (p/ajon.km)

A,B,C ja D ovat yksikkökustannukset ihanneolosuhteissa (p/ajon.km), taulukko 1

p on polttoaineenkulutus (l/100 km)

p₀ on polttoaineenkulutus ihanneolosuhteissa (l/100 km)

Ajoneuvokustannusfunktiot on määritetty erikseen kevyelle ja raskaalle tyyppiajoneuville. Tyyppiajoneuvojen polttoaineenkulutuksina ihanneolosuhteissa on eri laskenta-ajankohtina käytetty seuraavia arvoja:

vuosi	kevyt tyyppiajoneuvo p ₀ (l/100 km)	raskas tyyppiajoneuvo p ₀ (l/100 km)
1970	5.55	18.94
-75	5.80	19.26
1980	6.05	19.59
-85	6.30	19.92

Jos polttoaineenkulutus p on saatu määritetyksi (mitattu), voidaan ajoneuvokustannukset (verottomana) eri vuosina laskea kaavojen (1) ja (2) avulla:

$$\text{kevyt ajoneuvo Ank} = \left[0.789 + (V-1970)0.0047 \right] p + 4.13 + (V-1970)0.16 \quad (1)$$

$$\text{raskas ajoneuvo Ank} = \left[0.600 + (V-1970)0.0105 \right] p + 11.28 + (V-1970)0.112 \quad (2)$$

jossa, Ank on ajoneuvokustannus (p/ajon.km)

p on polttoaineenkulutus (l/100 km)

V on vuosiluku

Polttoaineenkulutus p voidaan arvioida eri laskentavuosina tunnettaessa ajoneuvon nopeus ja tien mäkisyys seuraavien kaavojen (3) ja (4) avulla:

$$\text{kevyt ajoneuvo } p = 6.93 + 0.05(V-1970) - 0.0684 \cdot v + 0.000848 \cdot v^2 + 0.05 \cdot m \quad (3)$$

$$\text{raskas ajoneuvo } p = 13.67 + 0.065(V-1970) + 0.1317 \cdot v + 0.30 \cdot m \quad (4)$$

joissa, p on polttoaineenkulutus (l/100 km)

V on vuosiluku

v on nopeus (km/h)

m on mäkisyys (m/km)

4.32 Aikakustannukset

Aikakustannukset ajoneuvokilometriä kohti saadaan jakamalla ajan arvo ajoneuvon nopeudella:

$$\text{Aik}(p/\text{ajon} \cdot \text{km}) = \frac{\text{aik}(p/h)}{v(\text{km/h})}$$

Taulukossa 2 on esitetty tässä tutkimuksessa käytetyt lähteessä / 1 / esitettyt ajan arvon varjohinnat vuosina 1968-2000 kevyelle ja raskaalle ajoneuville. Perusvuotena on selvityksessä käytetty vuotta 1968.

Taulukko 2 . Kevyen ja raskaan tyyppiauton ajan arvot vv. 1968-2000 / 1 /.

Vuosi	Ajan arvo (mk/h)	
	Kevyt tyyppiajoneuvo	Raskas tyyppiajoneuvo
	2 %:n kasvu	2 %:n kasvu
1968	4.90	11.44
1970	5.10	11.90
1980	6.22	14.51
1990	7.58	17.68
2000	9.24	21.56

4.33 Onnettomuuskustannukset

Onnettomuuskustannus ajoneuvokilometriä kohti voidaan laskea kertomalla onnettomuusaste onnettomuuden hinnalla / 1 /:

$$\text{Onk}(p/\text{ajon}\cdot\text{km}) = \bar{o} (\text{onn}/100 \text{ milj.ajon}\cdot\text{km})\cdot\text{onk}(p)\cdot 10^{-8}$$

Keskimääräinen onnettomuuskustannus (mk/onn) vv. 1968-2000 on lähteen / 1 / mukaan taulukon 3 mukainen. Perusvuotena on selvityksessä käytetty vuotta 1968.

Taulukko . Keskimääräinen onnettomuuskustannus (mk/onn) vv. 1968-2000 / 1 /.

Vuosi	Onnettomuuskustannus (mk/onn.)			
	Yleinen tie	Katu	Muu tie	Yhteensä
	Kasvu 4 %/v			
1968	13200	5000	6700	9100
1970	14200	5400	7200	9800
1980	21100	8000	10700	14600
1990	31200	11900	15800	21600
2000	46200	17600	23300	31900

Onnettomuusaste \bar{o} riippuu tietyypistä ja liikennemäärästä / 1 /. Tämän tutkimuksen teillä keskimääräiseksi onnettomuusasteeksi voidaan arvioida 150 onn/100 milj.ajon.km, jolloin onnettomuuskustannukseksi v.1970 saadaan 2.1 p/ajon.km.

Onnettomuuskustannusten on oletettu tässä tutkimuksessa pysyvän vakiosuuruisina, eikä niitä sen vuoksi ole otettu mukaan ajokustannuslaskelmiin.

5. SUORITETUT AJOANALYSAATTORIMITTAUKSET JA SAADUT TULOKSET

5.1 Tutkimusaineiston hankinta

Ajoanalysaattorimittaukset kelirikkoteillä aloitettiin keväällä v.1969 ja niitä jatkettiin v.1971. Mittauksia suoritettiin liitteessä 2 mainituilla tieosilla 17.4.-15.8.1969 välisenä aikana. Pahimpana kelirikkoaikana mitattiin jokainen tieosa vähintään joka toinen viikko ja teiden kuivumisen edistytessä mittausker-toja harvennettiin. Viimeiset kaksi ajokertaa suoritettiin heinäkuun ja elokuun puolivälissä. Vuonna 1971 mittauksia jatkettiin liitteessä 1 mainituilla tieosilla 6.4.-6.8.1971 välisenä aikana em. tavalla viimeisen mittausajon tapahtuessa joko heinäkuun lopussa tai elokuun alussa. Raskaan ajoneuvon ajokustannusten selvittämiseksi suoritettiin 4.5.1971 mittauksia kuorma-autolla liitteessä 1 mainituilla 7 kelirikkoisella tieosalla.

Kelirikkoisilla teillä suoritettujen mittauksen lisäksi on tässä tutkimuksessa käytetty v.1970 kunnossapitomenetelmätarkkailuun kuuluneilla 14 tieosalla suoritettujen ajoanalysaattorimittausten tuloksia selvitettyäessä päällysteen kunnan vaikutusta ajonopeuteen, polttoaineenkulutukseen ja ajokustannuksiin sorateilla.

5.2 Mittauskalusto

5.21 Ajoanalysaattori PP 6300 /10 /

Polttoaineenkulutus- ja ajoaikamittaukset suoritettiin Oy Nokia Ab:n valmistamalla vuodesta 1967 tvh:n käytössä olleella ajoanalysaattorilaitteella PP 6300. Ajoanalysaattori on autoon asennettava mittauslaite, joka on erikoisesti suunniteltu tie- ja liikennetaloudellisia tutkimuksia varten.

Ajoanalysaattori tulostaa automaattisesti tietyin aikaväleihin auton hetkellisen nopeuden (km/h), kulutetun ajan (s), puolet polttoaineen kumulatiivisesta kulutuksesta (ml) ja ajetun matkan (m tai 10 m). Automaattisen tulostuksen aikaväliksi voidaan valita 1 s tai 10 s. Lisäksi voidaan tulostaa käsin laitteen ohjauslevyssä olevien 20 painikkeen avulla muu haluttu

informaatio, esim. liittymät, nopeusrajoitukset, ohitukset. Tässä tutkimuksessa on tulostus tapahtunut rivikirjoittimella, jonka tulostusnauha selityksineen on esitetty kuvassa 7. Tulostus voidaan järjestää haluttaessa myös reikänauhalävistimellä, jolloin tiedot voidaan käsitellä sellaisenaan tietokoneella.

Matkan ja nopeuden mittausta tapahtuu auton matkamittarin vaijeriin T-kappaleella liitetyn nopeusanturin avulla. Nopeusanturin antamien pulssien kokonaismäärä on suoraan verrannollinen auton kulkemaan matkaan ja pulssien määrä aikayksikössä auton nopeuteen. Ajoanalysaattorin matkarekisterin kapasiteetti on 9990 m, kun matkan mittausta tapahtuu 10 m:n tarkkuudella ja 999 m, kun mittaustarkkuutena on 1 m. Kapasiteetin ylittyttyä tulostus alkaa uudelleen nollassa.

Ajan mittausta tapahtuu 1 kHz:n kideoskillaattorilla, jonka taajuus jaetaan 1000:lla, jolloin saadaan pulssi sekunnin välein. Nämä pulssit ohjataan aikarekisteriin, jonka kapasiteetin (999 s) ylittyessä tulostus jatkuu nollassa.

Henkilöauton polttoaineenkulutuksen mittausta varten on polttoaineputkistoon polttoainepumpun jälkeen asennettu KENT-MINI-OIL-mittari ja siihen liittyvä suodatin. Kuorma-autolla suoritettavissa mittauksissa palautuu osa polttoaineesta palautusputkia pitkin, jolloin tämä joudutaan ottamaan huomioon polttoaineanturin asennuksessa. Mittaus perustuu polttoainevirran mukana pyörivän kestonagneetin antamien pulssien lukumäärän elektroniseen laskemiseen. Polttoainerekisterin kapasiteetti on 999, jonka jälkeen tulostus jatkuu nollassa. Nauhalle tulostuvat polttoainelukemat on kerrottava kahdella ajoanalysaattorin logiikassa suoritettua muutoksen vuoksi, jonka johdosta polttoainerekisterin todelliseksi kapasiteetiksi tulee 2 x 999 ml.

Ajoanalysaattori toimii rivikirjoittimen kanssa käytettynä 24 V:n jännitteellä. Virtalähteenä käytettiin tässä tutkimuksessa kahta 12 V:n akkua, joiden yhteinen paino on n.70kg. Analysaattorin paino rivikirjoittimineen on 56 kg, joten mittauslaitteiston kokonaispainoksi tulee n. 130 kg.

65	1.00	1.00	2
65	2.00	3.00	4
62.	3.00	4.00	5
62.	4.00	5.00	7
63	5.00	6.00	9
902.			
62.	6.00	6.01	1
62.	7.00	7.01	2
64	10.00	9.01	7
74	20.01	5.03	8
64.	30.02	3.05	7
58.	35.02	5.06	5
59.	36.02	6.06	7
915.			
61.	37.02	6.06	9
63.	38.02	6.07	0
65.	39.02	7.07	2
63	40.02	8.07	4
64.	41.02	8.07	6
59.	42.03	0.07	7
57.	43.03	0.07	9
905.			
57.	44.03	2.08	1
58.	45.03	3.08	2
59.	46.03	3.08	4
60.	47.03	5.08	5
59.	48.03	5.08	7
60.	49.03	6.08	9
60.	50.03	7.09	0

Hetkellinen nopeus
(km/h) ja koodit

Ajoaika (s)

Kulutettu polttoaine
jaettuna kahdella (ml)

Ajettu matka kymme-
nän metreinä

Kuva 7 . Ajoanalysaattorin rivikirjoittimen
tulostusnauha.

Matkan mittauksessa voidaan mittausvirheen suuruudeksi arvioida alle 0.5 % ja ajan mittauksessa alle 1 %. Polttoaineenkulutuksen mittauksessa on virhelähteinä mittarin sisäinen vuoto sekä pulssien määrän ja kulutetun polttoaineen välisen vastaavuuden systeemivirhe. Polttoaineenkulutuksen mittauksen suurimmaksi kokonaisvirheeksi voidaan arvioida 5 %.

5.22 Tutkimusautot

Tutkimusautoina on käytetty kahta tvh:n erityisesti ajoanalyysaattorimittauksia varten hankkimaa henkilöautoa; vuosien 1969 ja 1970 mittauksissa lokakuussa 1968 käyttöönotettua Vauxhall Viva "90" De Luxe kartanoautoa ja v.1971 mittauksissa helmikuussa 1971 käyttöönotettua henkilöautoa Saab V4. Lisäksi on suoritettu suppeahko vertailututkimus Keski-Suomen tv- piiristä saadulla kuorma-autolla Sisu K-148.

Ajoanalyysaattoritutkimuksissa käytetyt henkilöautot on pyritty valitsemaan siten, että ne kiinteällä tutkimuskalustolla kuormattuna vastaisivat mahdollisimman hyvin ns. tyyppiajoneuvon (auto, joka ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyvin vastaa henkilö- ja pakettiautojen ajosuoritteilla painotettua keskiarvoa) ominaisuuksia. Taulukossa 4 on esitetty tässä tutkimuksessa käytettyjen henkilöautojen ominaisuuksia sekä ns. kevyen tyyppiajoneuvon ominaisuuksia lähteen / 1 / mukaan. Taulukossa 5 on esitetty vertailututkimuksessa käytetyn kuorma-auton ominaisuuksia ja vastaavasti ns. raskaan tyyppiajoneuvon ominaisuuksia / 1 /.

Kuvassa 8 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen henkilöautojen ja keskim. henkilöauton /13 / polttoaineenkulutuksen riippuvuus nopeudesta ajettaessa tasaisella nopeudella suorinta vaihdetta käyttäen vaakasuoralla, kaarteettomalla kestopäällystetiellä. Em. keskim. henkilöauton polttoaineenkulutuskäyrä on määritetty 24 yleisimmän henkilöauton polttoaineenkulutuskäyristä käyttäen painoina kunkin automerkin rekisteröityä lukumäärää v. 1966 lopussa. Nämä 24 eri henkilöautomerkkiä edustivat vuoden 1966 lopussa rekisterissä olleista henkilöautoista n. 85 %.

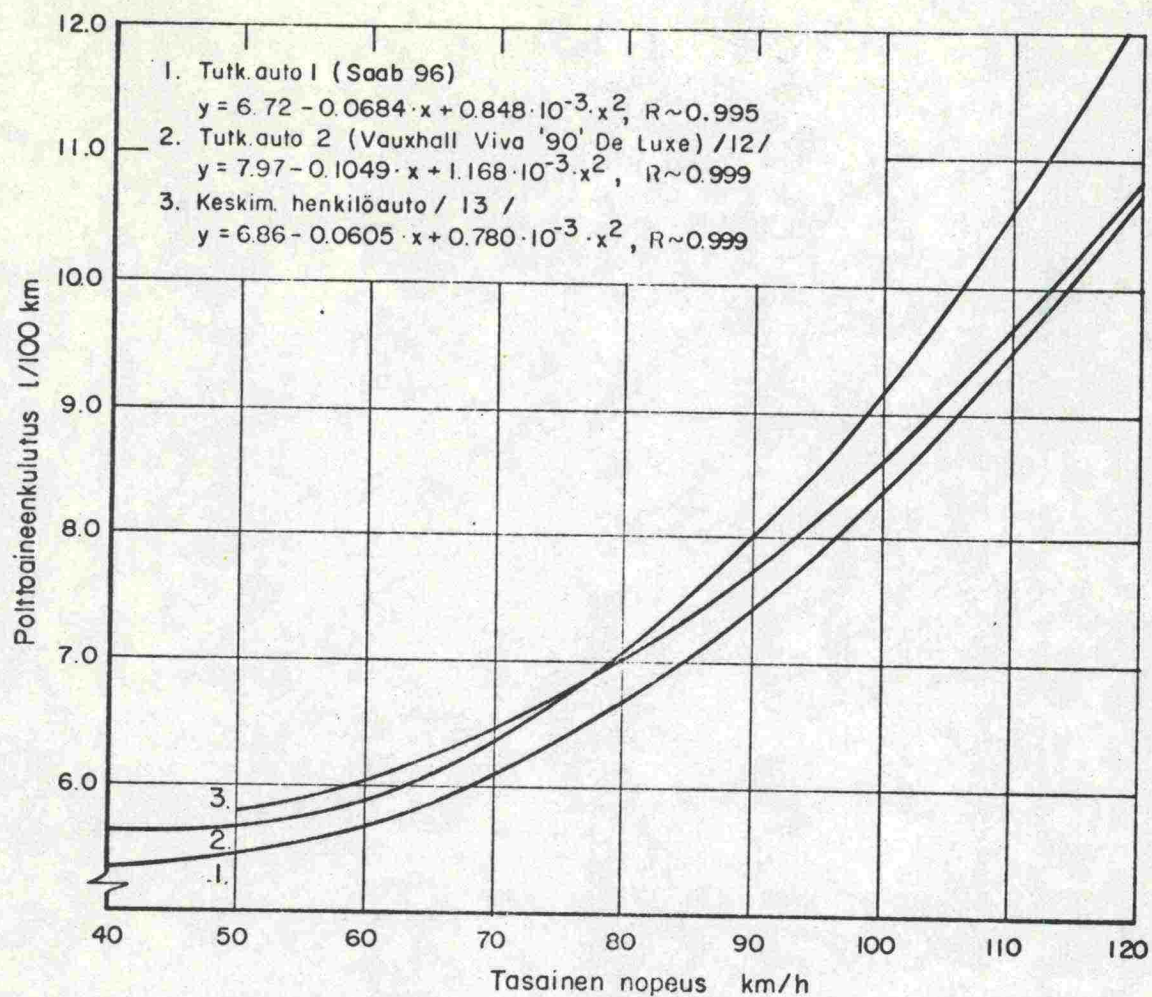
Taulukko 4 . Tutkimuksessa käytettyjen henkilöautojen ominaisuuksia sekä ns. kevyen tyyppi-
ajoneuvon / 1 / ominaisuuksia.

Ominaisuus	Saab 96	Vauxhall Viva "90" De Luxe	Kevyt tyyppiajoneuvo		
	Tutk. auto 1	Tutk. auto 2	v.1968	v.1970	v.1980
Omapaino (kg)	920 (1050) ¹⁾	860 (990) ¹⁾	905	905	900
Moottorin teho (hv,SAE)	73.0	68.9	54.5	56.4	67.8
Sylinteritilavuus (cm ³)	1500	1150	1350	1350	1420
Tehopaino (kg/hv)	12.6 (14.4) ¹⁾	12.5 (14.4) ¹⁾	16.6	16.0	13.2
Paino liikenteessä (kg)	1210	1150	1090	1100	1090
Henkilökuorma (kpl)	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
Vuotuinen ajosuorite (km)	(35000)	(40000)	17170	17300	18600
Käyttökä (v)	(v.1971-)	(v.1968-)	8.5	8.2	7.3

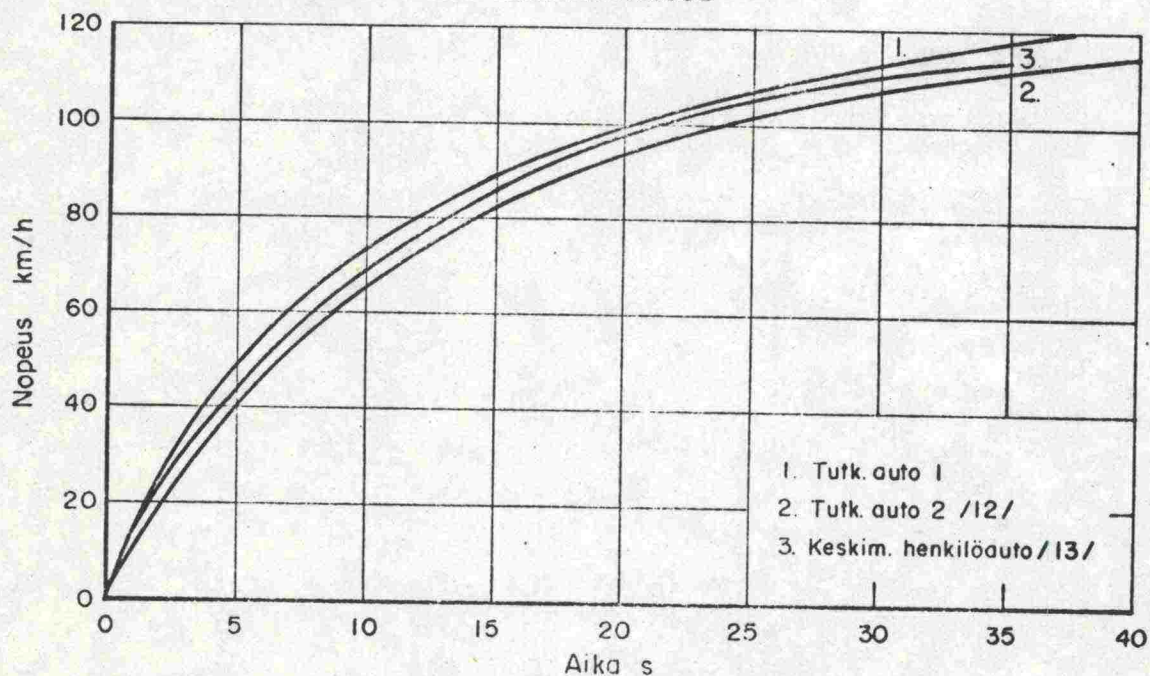
¹⁾ Suluissa olevat arvot laskettu lisäämällä auton omapainoon mittauskaluston paino n. 130 kg.

Taulukko 5 . Vertailututkimuksessa käytetyn kuorma-auton
ominaisuuksia sekä ns. raskaan tyyppiajoneuvon
/ 1 / ominaisuuksia.

Ominaisuus	Sisu K-148 Raskas tyyppiajoneuvo			
	v.1968	v.1970	v.1980	
Omapaino (kg)	6800	6900	6900	7600
Kantavuus (kg)	5700	7700	7800	9100
Kuorman suuruus (kg)	n. 4200	4600	4600	5200
Kok.paino liikenteessä (kg)	n.11000	11500	11500	12800
Sallittu kok.paino (kg)	12500	14500	14600	16800
Moottorin teho (hv,SAE)	165	150	150	190
Akselilukumäärä (kpl)	2.0	2.6	2.7	2.9
Vuotuinen ajosuorite (km)	..	49600	52000	58300
Käyttökä (v)	(v.1966-)	7.8	7.6	7.0



Kuva 8. Tutkimusautojen sekä keskimääräisen henkilöauton polttoaineenkulutuksen riippuvuus tasaisesta nopeudesta ihanteellisissa tieolosuhteissa



Kuva 9. Tutkimusautojen sekä keskimääräisen henkilöauton kiihtyvyysskäyrät

Kuvassa 9 on esitetty tutkimusautojen ja keskim. henkilöauton /13 / kiihtyvyyskäyrät.

Tutkimuksessa käytetyn kuorma-auton polttoaineenkulutus mitattiin sekä tyhjänä että kokonaispainon ollessa n. 11 tn lähes vaakasuoralla 1 km:n pituisella tieosalla. Kuvassa 10 on esitetty tutkimusauton polttoaineenkulutuskäyrä sekä raskaan ajoneuvon polttoaineenkulutuskäyrät eri lähteiden mukaan.

Taulukkojen 4 ja 5 sekä kuvien 8, 9 ja 10 perusteella voidaan todeta mm. seuraavaa. Molempien tutkimusautojen 1 ja 2 tehopaino on vuoden 1970 kevyen tyyppiajoneuvon tehopainoa 10 % pienempi. Tutkimusauton 1 polttoaineenkulutus on ideaalisissa tieolosuhteissa n. 0.4 l/100 km pienempi kuin tutkimusautolla 2 nopeusalueella 50...80 km/h, mille alueelle tämän tutkimuksen lähes kaikki nopeushavainnot sijoittuvat. Kuorma-auton moottorin teho ja kokonaispaino liikenteessä verrattuna raskaaseen tyyppiajoneuvon v.1970 ovat lähes samat; polttoaineenkulutukset poikkeavat kuitenkin toisistaan huomattavasti varsinkin alle 60 km/h nopeuksilla. Tutkimuksessa käytetyn kuorma-auton polttoaineenkulutukseen on saattanut vaikuttaa moottorin ilmansaannin kuristaminen. Tosin suoran 4 kulmakerroin kuvassa 10 on samaa suuruusluokkaa kuin tutkimusauton polttoaineenkulutussuorien kulmakertoimet.

5.3 Mittausten suoritustapa

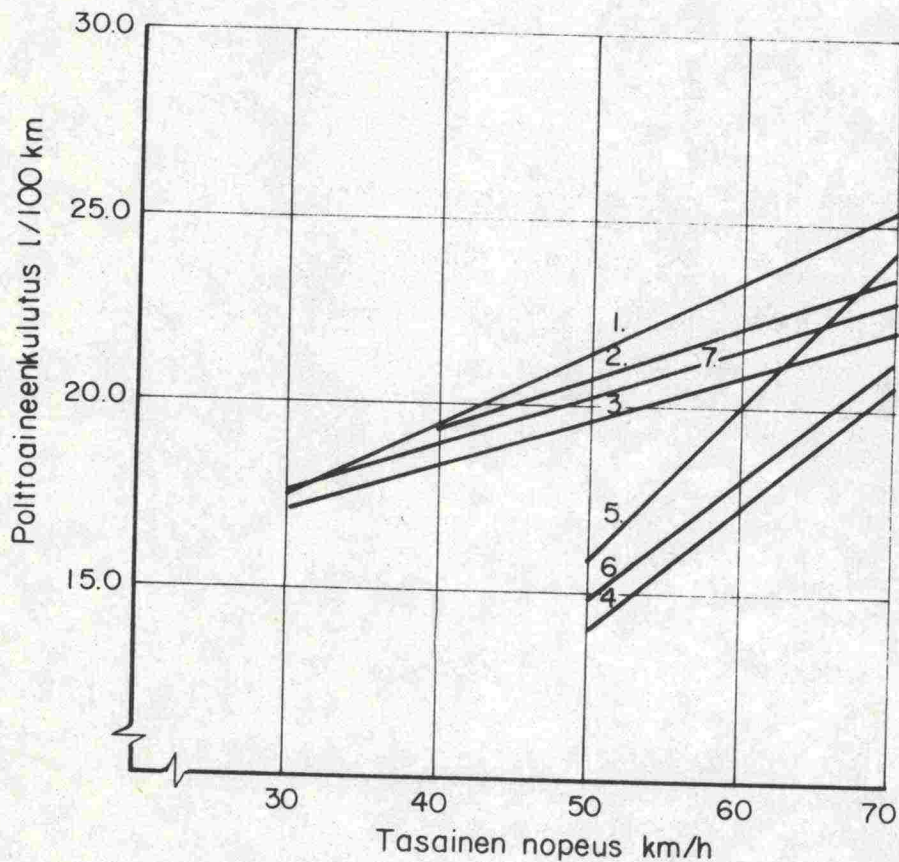
Mittaustieosat ajettiin yleensä kaksi kertaa edestakaisin. Kuljettajan käyttämä ajonopeus määräytyi muiden tiekäyttäjien arvioidun nopeuden ja tien kunnon perusteella. Mitään tiettyä nopeutta ei pyritty pitämään yllä. Tieosan alku- ja loppupisteiden ohella rekisteröitiin myös mahdollisten pysähdysten syyt ja pidettiin ajopöytäkirjaa tien pinnan kunnosta.

5.4 Päällysteen kunnon vaikutus ajonopeuteen, polttoaineenkulutukseen ja ajokustannuksiin soratiellä

5.41 Tutkimusaineisto

Päällysteen kunnon vaikutusta henkilöauton ajonopeuteen, polttoaineenkulutukseen ja ajokustannuksiin tutkittiin käyttäen aineistona kelirikkoteiltä tutkimusautolla 1 saatua aineistoa ja eräiltä v.1970 kunnossapitomenetelmätarkkailuun kuuluneilta tieosilta tutkimusautolla 2 saatua aineistoa.

1. Sisu K-138, 135 hv (DIN), kok. paino 11.7 tn, väl.suhde 6.95 /1/	
2. " " " 11.7 tn, " 5.04 /1/	
3. " " " 6.1 tn, " 5.04 /1/	
4. Sisu LV-132, 185 hv (SAE), " 8.5 tn, " 6.78 /1/	
5. Sisu K -148, 165 hv (SAE), " ~11.0 tn, " 5.25	
6. " " " 6.8 tn, " 5.25	
7. Raskas ajoneuvo v.1970 / 1 /	



Kuva 10. Tutkimusauton Sisu K-148 polttoaineenkulutuksen sekä raskaan ajoneuvon polttoaineenkulutuksen riippuvuus tasaisesta nopeudesta ihanteellisissa tieolosuhteissa.

Tarkastelu rajoitettiin koskemaan vain sorapäällysteisiä teitä, sillä päällystetyiltä teiltä saatavissa oleva aineisto oli liian suppea. Vuonna 1969 tutkimusautolla 2 kelirikkoteiltä saatua aineistoa ei voitu käyttää, sillä päällysteen kuntoa ei oltu arvosteltu numeerisesti. Tutkimusautolla 2 kunnossapitomenetelmätarkkailuun kuuluvilta 14 tieosalta saatu aineisto otettiin mukaan perusaineiston laajentamiseksi ja havaintojen lisäämiseksi alueelle, missä päällysteen kunto on 2.0...4.0.

Päällysteen kunto arvosteltiin kullakin mittauskerralla antamalla tieosalle subjektiivinen pisteluku 0...4.0. Pisteluku määräytyi seuraavia perusteita noudattaen:

Pisteluku 0...1.0, päällysteen kunto heikko: tien pinta erittäin kuoppainen; routasilmäkkeitä, joista kelirikkokaikana pursuaa savea; roudan aiheuttamia painumia ja kohoutumia, joita ei voi väistää; päällysteen reunassa syöpymiä; tien pintaa on jatkuvasti tarkkailtava ja ajonopeutta useasti vaihdeltava; tien päihin asetettava useimmiten pinnan epätasaisuuksista varoittavat kilvet. Pienimmän arvosanan 0.4 saaneella tieosalla ajonopeus laski useissa paikoissa lähes nollaan ja miltei koko tieosa jouduttiin ajamaan nelosvaihdetta pienempiä vaihteita käyttäen. Päällysteen kunnan ollessa alle 1.0 katsottiin tie erittäin routivaksi.

Pisteluku 1.0...2.0, päällysteen kunto välttävä: tienpinta kuoppainen; roudan aiheuttamia painumia ja kohoutumia, joista useimmat voidaan väistää; ajonopeutta on hiljennettävä usein ja epätasaisia kohtia varottava; tien päihin asetettava useimmiten pinnan epätasaisuuksista varoittavat kilvet. Lievästi routivien sorateiden pienimmät kunnan pisteluvut sijoittuivat välille 1.0...2.0.

Pisteluku 2.0...3.0, päällysteen kunto tyydyttävä: tien pinta kuoppainen; loivia roudan aiheuttamia painumia ja kohoutumia, joista jotkut saattavat vaatia varoitusmerkin; epätasaisuudet voidaan väistää; ajonopeutta ei juuri tarvitse pienentää. Kelirikkoisten teiden kunto kesällä viimeisten mittausten yhteydessä sijoittui usein välille 2.0...3.0.

Pisteluku 3.0...4.0, päällysteen kunto hyvä: tien pinta tasainen ja kiinteä; paikkauksen aiheuttamaa epätasaisuutta; ajonopeutta ei tarvitse pienentää epätasaisuuksien vuoksi. Kelirikkkoteiden kunto kesällä ei edellyttä tähän luokkaan sijoittumista. Kunnossapitomenetelmätarkkailun yhteydessä suorite-
tuilla mittaustieosilla päällysteen kunto vaihteli 2.0...4.0.

Todettakoon, ettei päällysteen arvosteluasteikon valinta vaikuta lopputuloksiin, jos vain päällysteen kunto pystytään määrittämään huonon ja hyvän päällysteen välillä jollakin menetelmällä. Em. kunnan arvosteluperusteita on käytetty myös öljysorasteiden kunnan määrittämisessä. Esimerkkejä päällysteen kunnan, polttoaineenkulutuksen, ajoajan ja ajokustannusten muuttumisesta kelirikkoaikana on esitetty kohdan 5.5 kuvissa 15 ja 16. Ajonopeus (km/h) on laskettu jakamalla tieosan pituus käytetyllä ajoajalla ja polttoaineenkulutus (l/100 km) jakamalla kulutettu polttoainemäärä tieosan pituudella.

Tutkimusaineisto jakaantui seuraavasti:

tutk.auto	tieosia	havaintoja
1	11	63
2	14	66
1+2	25	129

5.42 Aineiston käsittely ja mallin laadun arvostelu

Aineisto käsiteltiin tietokoneella IBM 360 lineaarista monimuuttujaregressioanalyysiä käyttäen. Saatavat mallit ovat tällöin muotoa:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_mX_m$$

jossa, Y on selitettävä muuttuja

a_i on regressiokerroin ($i = 0, 1, \dots, m$)

X_i on selittävä muuttuja tai sen transformaatio

Epälineaarinen malli voidaan usein palauttaa lineaariseksi suorittamalla muuttujan muunnos 1. transformaatio.

Muuttujien välisten korrelaatiokertoimien nollasta poikkeavuus voidaan testata t-testin avulla / 7 / / 28 /.

Testisuure t on tällöin:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2}$$

jossa, r on korrelaatiokerroin

n on havaintoparien lukumäärä

Testisuure t on $t(n-2)$ jakautunut satunnaissuure edellyttäen, että perusjoukko on likipitään normaalin.

Regressioanalyysin askelkohtaisina tuloksina saadaan mm. viimeiseen lisättyyn selittäjään liittyvä F -arvo, joka on laskettu kaavasta:

$$F = \frac{(n-k-1)R^2}{k(1-R^2)}$$

jossa, R on yhteiskorrelaatiokerroin

n on havaintojen lukumäärä

k on mallin selittävien muuttujien lukumäärä

Tämä F -arvo kuvaa lisätyn muuttujan malliin tuoman lisäselittävyyden tilastollista merkitsevyyttä vapausasteilla $(k, n-k-1)$.

Tarkasteltaessa, onko jonkin muuttujan osuus mallissa merkitsevä eli poikkeako kyseiseen muuttujaan liittyvä regressio-kerroin merkitsevästi nolasta, voidaan kerrointa testata käyttämällä t -testiä. Jakamalla kerroinestimaatti keskihajonnallaan saadaan testisuure, joka noudattaa t -jakautumaa vapausasteluvulla $n-k$, kun n on havaintojen ja k muuttujien lukumäärä, edellyttäen, että selitysvirheiden jakautuma on normaali.

Testaamisen yhteydessä tehdään johtopäätöksiä satunnaissuureiden oikeudesta tai erheellisyydestä. Testisuureta verrataan taulukoista saataviin arvoihin ja johtopäätöksen tilastollista voimakkuutta merkitään seuraavasti:

Merkitsevyys	Erehtymisen todennäköisyys	Merkintä
ei merkitsevä	5 %	-
melkein merkitsevä	5 % - 1 %	x
merkitsevä	1 % - 0.1 %	xx
erittäin merkitsevä	0.1 %	xxx

Mallin luotettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla yhteiskorrelaatiokerrointa R , jolla tarkoitetaan mallin antamien ja havaittujen selitettävän muuttujan arvojen muodostamien lukusarjojen välistä korrelaatiokerrointa. Luku $100 R^2$, ns. selityssaste, ilmaisee, kuinka monta prosenttia selitettävän muuttujan varianssista on saatu selitetyksi.

Seuraavassa on mallien yhteydessä esitetty yhteiskorrelaatiokerroin R , estimaatin hajonta s ja F -testisuure.

5.43 Saadut tulokset

Perusaineisto käsiteltiin kahtena osa-aineistona; tutkimusautolla 1 saadut havainnot muodostivat aineiston 1 (63 havaintoa) ja molempien autojen yhdistetyt havainnot aineiston 0+1 (129 havaintoa). Mallien muodostamisessa käytetyt muuttujat ja niiden mittaamistapa on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6 . Käytetyt muuttujat ja niiden mittaamistapa ajoanalyysointimittaustulosten käsittelyssä.

Muuttuja	Yksikkö
Y2 Päällysteen kunto	pisteluku (0...4.0)
Y3 Ajonopeus	km/h
Y4 Polttoaineenkulutus	l/100 km
Y5 Suht. polttoaineenkulutus	suhdeluku (> 1.0)
Y6 Ajokustannukset (ilman onn.kust.)	p/ajon·km
Y102 Y2 · Y2	(pisteluku) ²
Y103 Y3 · Y3	(km/h) ²

Kummankin aineiston muuttujien keskiarvot, hajonnat ja korrelaatiomatriisit on esitetty taulukossa 7. Korrelaatiokerrointen r nollasta poikkeamisen merkitsevyys on eri aineistoissa seuraava:

merkitsevyys	r aineistossa 1	r aineistossa 0+1
-	0.248	0.173
x	0.248...0.321	0.173...0.225
xx	0.322...0.405	0.226...0.287
xxx	0.405	0.287

5.431 Ajonopeuden riippuvuus päällysteen kunnosta

Selitetessä ajonopeuden, Y_3 , riippuvuutta päällysteen kunnosta saatiin seuraavat mallit:

$$\begin{aligned} \text{aineisto 1: } Y_3 &= 25.02 \cdot Y_2 - 5.177 \cdot Y_{102} + 38.57 & (5) \\ R &= 0.815, s = 4.3, F(2,60) = 59.17 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{aineisto 0+1: } Y_3 &= 14.47 \cdot Y_2 - 1.837 \cdot Y_{102} + 44.99 & (6) \\ R &= 0.752, s = 4.6, F(2,126) = 81.75 \end{aligned}$$

Jälkimmäisen selittäjän, Y_{102} , malleihin tuoma lisäselittävyys on vähintään merkitsevä F -testisuureen perusteella ja kaikkien regressiokertoimien nollasta poikkeavuus erittäin merkitsevä.

Mallien (5) ja (6) mukaiset riippuvuudet on esitetty kuvassa 11. Saatujen tulosten mukaan ajonopeuden voidaan todeta kasvavan n. 25 km/h päällysteen kunnan muuttuessa erittäin heikosta hyväksi. Riippuvuuksia tarkasteltaessa on huomattava, että päällysteen kunnan vaikutusta selviteltäessä tieosien erilaista geometriaa ei ole voitu ottaa huomioon havaintoaineiston pienyyden vuoksi.

5.432 Polttoaineenkulutuksen riippuvuus päällysteen kunnosta ja ajonopeudesta

Selitetessä polttoaineenkulutusta, Y_4 , päällysteen kunnolla sekä ajonopeudella, saatiin seuraavat mallit:

$$\begin{aligned} \text{aineisto 1: } Y_4 &= -4.002 \cdot Y_2 + 0.7404 \cdot Y_{102} + 13.12 & (7) \\ R &= 0.773, s = 0.93, F(2,60) = 44.60 \end{aligned}$$

Taulukko 7. Ajoanalysointorimittausten tulosten käsittelyssä käytettyjen muuttujien (Yi) keskiarvot ja hajonnat sekä muuttujien väliset korrelaatiokertoimet.

Aineisto 1

Keskiarvot ja hajonnat

Muuttujan indeksi	Keskiarvo	Hajonta
2	1.833328	0.679904
3	64.677673	7.265208
4	8.613436	1.436996
5	1.473819	0.300041
6	18.924652	2.002251
102	3.816024	2.322491
103	4235.144531	898.792725

Aineisto 1

Korrelaatiomatriisi

	2	3	4	5	6	102	103
2	+1.00000						
3	+0.72742	+1.00000					
4	-0.72635	-0.65285	+1.00000				
5	-0.77478	-0.78329	+0.98173	+1.00000			
6	-0.79662	-0.88133	+0.92764	+0.97815	+1.00000		
102	+0.97515	+0.62814	-0.64957	-0.68825	-0.69377	+1.00000	
103	+0.71088	+0.99638	-0.62321	-0.75873	-0.85484	+0.62042	+1.00000

Aineisto 0+1

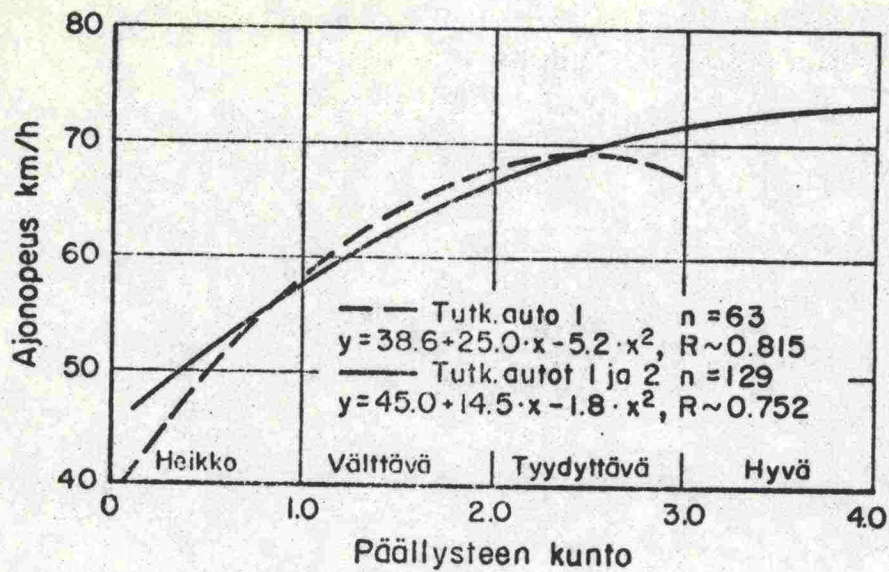
Keskiarvot ja hajonnat

Muuttujan indeksi	Keskiarvo	Hajonta
2	2.306952	0.747117
3	67.578934	6.966472
4	8.073408	1.228452
5	1.324326	0.265839
6	18.135925	1.657990
102	5.875883	3.230202
103	4615.066406	915.306396

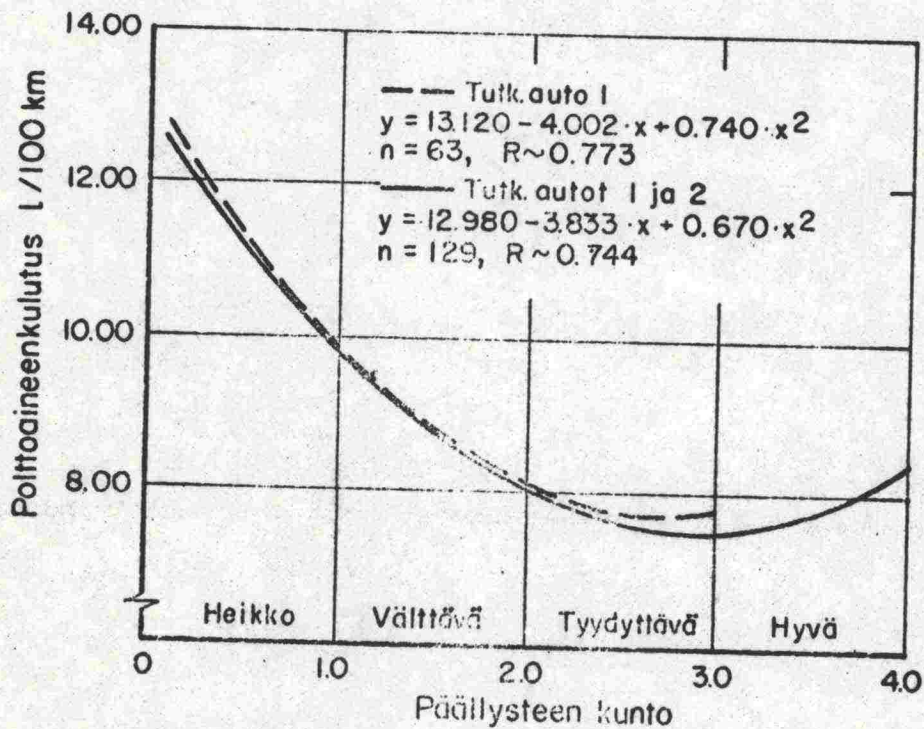
Aineisto 0+1

Korrelaatiomatriisi

	2	3	4	5	6	102	103
2	+1.00000						
3	+0.72421	+1.00000					
4	-0.61778	-0.49478	+1.00000				
5	-0.75065	-0.71714	+0.95475	+1.00000			
6	-0.75799	-0.81677	+0.89900	+0.97562	+1.00000		
102	+0.97186	+0.65658	-0.50262	-0.64377	-0.63845	+1.00000	
103	+0.70753	+0.99436	-0.44692	-0.68022	-0.77592	+0.65461	+1.00000



Kuva 11. Tutkimusautojen ajonopeuden riippuvuus päällysteen kunnosta sorateilla.



Kuva 12. Tutkimusautojen polttoaineenkulutuksen riippuvuus päällysteen kunnosta sorateilla

$$Y_4 = -1.129 \cdot Y_2 - 0.05229 \cdot Y_3 + 14.06 \quad (8)$$

$$R = 0.749, s = 0.97, F(2,60) = 38.26$$

$$\text{aineisto 0+1: } Y_4 = -3.833 \cdot Y_2 + 0.6704 \cdot Y_{102} + 12.98 \quad (9)$$

$$R = 0.744, s = 0.83, F(2,126) = 78.26$$

$$Y_4 = -3.132 \cdot Y_2 + 0.5113 \cdot Y_{102} - 0.2918 \cdot Y_3 + 0.002236 \cdot X_{103} \quad (10)$$

$$R = 0.758, s = 0.81, F(4,124) = 41.97$$

Kaikissa malleissa viimeisen selittäjän malliin tuoma lisäselittävyys on vähintään merkitsevää F-testisuureen perusteella ja muuttujien regressiokertoimien nolasta poikkeamisen todennäköisyys on esitetty seuraavassa:

malli	selittäjä	kertoimen arvo	t-termi	merkitsevyys
(7)	Y2	-4.002	-5.123	xxx
	Y102	0.7404	3.238	xx
(8)	Y2	-1.129	-4.282	xxx
	Y3	-0.05229	-2.120	x
(9)	Y2	-3.883	-9.228	xxx
	Y102	0.6704	6.978	xxx
(10)	Y2	-3.132	-5.711	xxx
	Y102	0.5113	4.009	xxx
	Y3	-0.2918	-2.179	xx
	Y103	0.002236	2.304	xx

Mallien (7) ja (9) esittämät riippuvuudet on esitetty kuvassa 12. Käyrien nousu päällysteen kunnan ollessa hyvä johtuu joko lisääntyneestä ajonopeudesta tai havaintojen vähyydestä alueella, missä päällysteen kunto on erittäin hyvä. Kuvan 12 mukaan on polttoaineenkulutus päällysteen kunnan ollessa erittäin heikko n. 60 % suurempi kuin hyväkuntoisella päällysteellä.

Polttoaineenkulutuksen, Y_4 (l/100 km), lisäksi käytettiin muuttujana suhteellista polttoaineenkulutusta Y_5 . Suhteellinen polttoaineenkulutus on tässä laskettu jakamalla havaittu polttoaineenkulutus saman nopeuden ideaalisissa tieolosuhteissa (kestopäällystetiellä) antamalla polttoaineenkulutuksella.

nopeudesta
Polttoaineenkulutuksen riippuvuus/ideaalisissa tieolosuhteissa on esitetty kuvassa 8 .

Selitetessä suhteellisen polttoaineenkulutuksen riippuvuutta päällysteen kunnosta saatiin seuraavat mallit:

$$\begin{aligned} \text{aineisto 1: } Y_5 &= -0.9319 \cdot Y_2 + 0.1771 \cdot Y_{102} + 2.506 \\ R &= 0.832, s = 0.17, F(2,60) = 67.57 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{aineisto 0+1: } Y_5 &= 0.8017 \cdot Y_2 + 0.1272 \cdot Y_{102} + 2.426 \\ R &= 0.834, s = 0.15, F(2,126) = 144.3 \end{aligned} \quad (12)$$

Molemmissa malleissa selittäjän Y_{102} (kunnon toinen potenssi) malliin tuoma lisäselittävyys on vähintään merkitsevää ja kaikkien selittävien muuttujien regressiokertoimien nolasta poikkeavuus on erittäin merkitsevää.

Mallien (11) ja (12) mukaiset riippuvuudet on esitetty kuvassa 13. Käyrien nousun syy päällysteen kunnon ollessa hyvä lienee kuten edelläkin havaintoaineiston epätasainen jakautuminen asteikolle. Päällysteen kunnon ollessa hyvä on suhteellinen polttoaineenkulutus n. 1.2, mikä osoittaa ideaalisten tieolosuhteiden ja tutkittujen sora-
teiden välisen tasoeron.

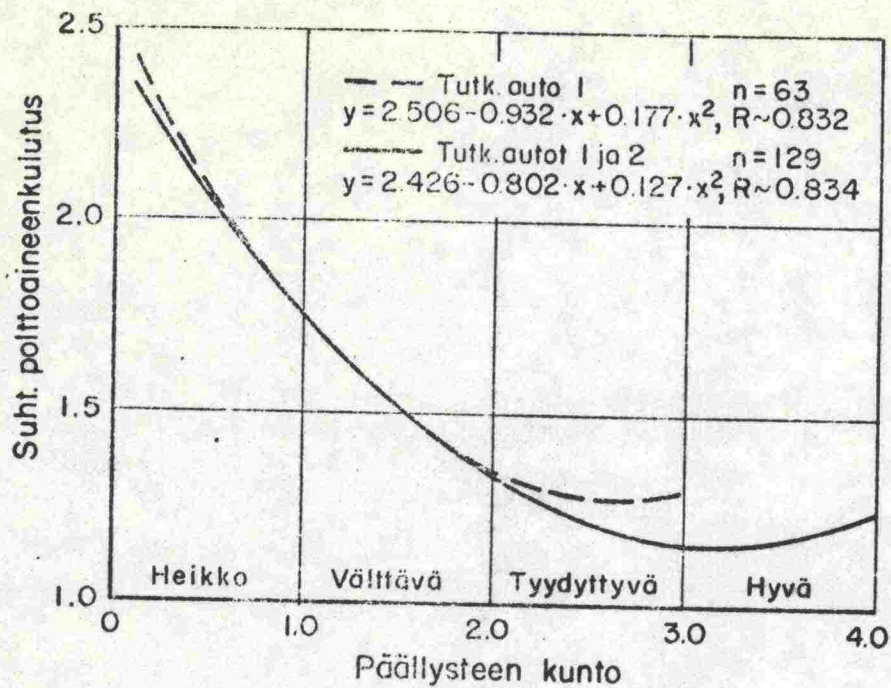
5.433 Ajokustannusten riippuvuus päällysteen kunnosta

Ajokustannukset on laskettu kohdassa 4.3 esitettyjen perusteiden mukaisesti. Onnettomuuskustannuksia ei ole otettu tarkasteluun mukaan. Ajoneuvo- ja aikakustannusten summan ja päällysteen kunnon välille saatiin seuraavat riippuvuudet:

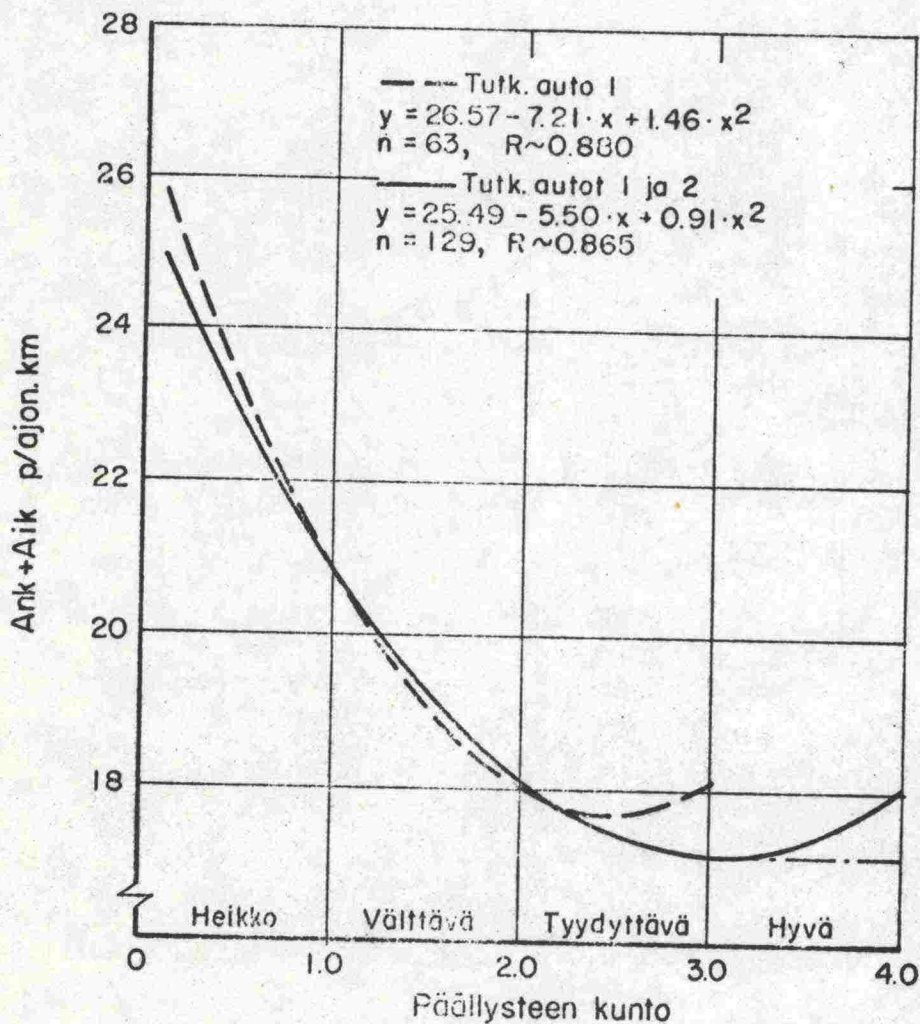
$$\begin{aligned} \text{aineisto 1: } Y_6 &= -7.206 \cdot Y_2 + 1.459 \cdot Y_{102} + 26.57 \\ R &= 0.880, s = 0.97, F(2,60) = 103.4 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{aineisto 0+1: } Y_6 &= -5.501 \cdot Y_2 + 0.9087 \cdot Y_{102} + 25.49 \\ R &= 0.865, s = 0.84, F(2,126) = 187.4 \end{aligned} \quad (14)$$

Molemmissa malleissa selittäjän Y_{102} malliin tuoma lisäselittävyys on vähintään merkitsevää ja selittävien muuttujien regressiokertoimien nolasta poikkeavuus erittäin merkitsevää. Mallien (13) ja (14) mukaiset riippuvuudet on esitetty kuvassa 14 .



Kuva 13. Tutkimusautojen suhteellisen polttoaineenkulutuksen riippuvuus päällysteen kunnosta sorateilla



Kuva 14. Tutkimusautojen ajokustannusten (ilman onn. kust.) riippuvuus päällysteen kunnosta sorateilla (v.1970 hinnoin)

Käyrien nousu päällysteen kunnon ollessa hyvä johtuneen kuten edellä on todettu joko havaintojen vähyydestä päällysteen kunnon ollessa hyvä tai lisääntyneen ajonopeuden aiheuttamasta suuremmasta polttoaineenkulutuksesta. Yhtälön (14) mukaan saadaan seuraavat ajokustannuslisät päällysteen kunnon muuttuessa hyvästä heikoksi:

Päällysteen kunto

		Hyvä	Välttävä		Tyydyttävä		Heikko		
Pisteluku	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Ajokust.									
lisä(%)	0	0	0	1.8	5.5	12.5	21.9	33.8	(48.7)

Suhteellisen polttoaineenkulutuksen, Y5, todettiin korreloivan ajoneuvo- ja aikakustannusten summan, Y6, kanssa erittäin voimakkaasti; aineistossa 1 on $R = 0.978$ ja aineistossa 0 + 1 on $R = 0.976$. Muuttujien Y5 ja Y6 väliseksi regressiosuoraksi saatiin:

$$\text{aineisto 1 : } Y6 = 6.53 \cdot Y5 + 9.31, \quad R = 0.978^{xxx} \quad (15)$$

$$\text{aineisto 0+1: } Y6 = 6.09 \cdot Y5 + 10.08, \quad R = 0.976^{xxx} \quad (16)$$

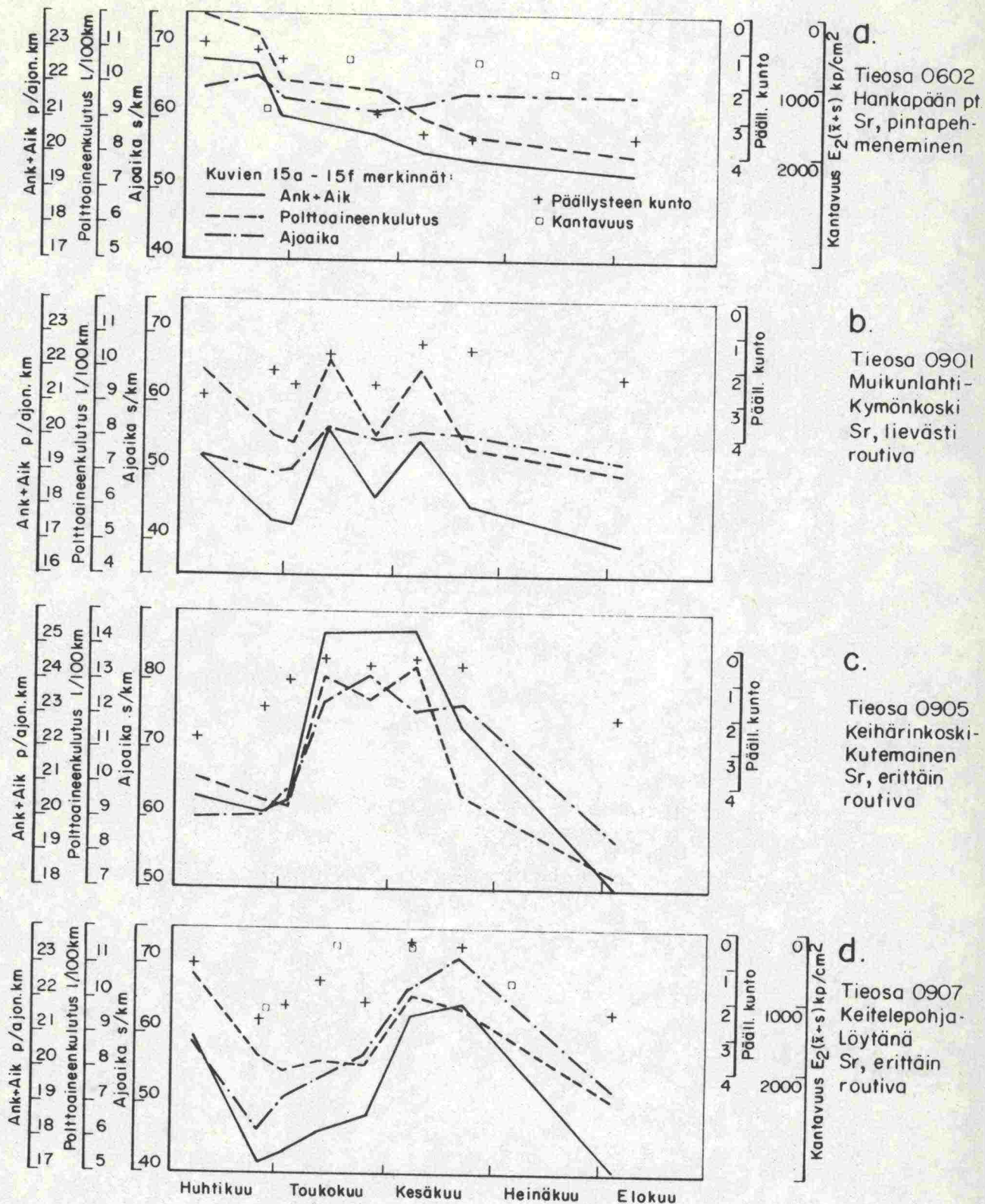
Suhteellinen polttoaineenkulutus selittää siten paremmin aikakustannusten osuutta ajokustannuksissa kuin selittäjä Y4 (polttoaineenkulutus l/100 km).

5.5 Kelirikkoajan aiheuttamat ajokustannuslisät

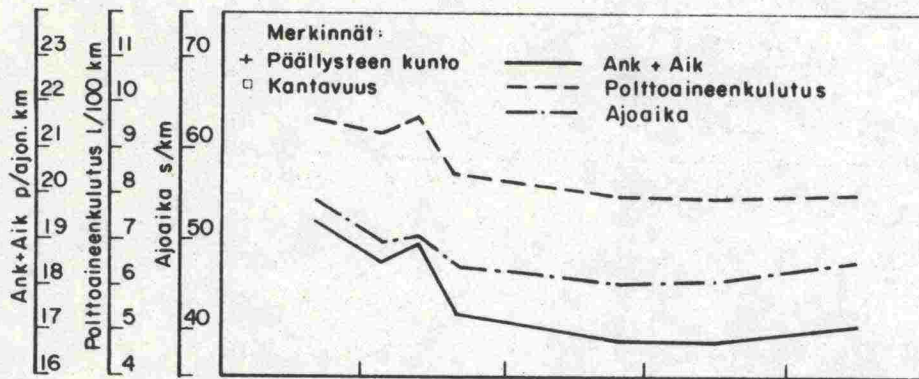
Kelirikkoaikana routivien sora- ja öljysorateiden päällysteen kunto muuttuu ajan mukana ja kunnan muuttuessa muuttuvat myös ajonopeus, polttoaineenkulutus ja siten myös ajokustannukset. Koko kelirikkoajan aiheuttamia lisääntyneitä ajokustannuksia ei siten ole mahdollista määrittää tuntematta päällysteen kunnan muuttumista ajan mukana ja kunnan vaikutusta ajokustannuksiin tai suorittamatta mittauksia.

Tässä tutkimuksessa on kelirikkoajan vaikutusta henkilöauton ajokustannuksiin pyritty selvittämään suorittamalla mittausajoja mahdollisimman tihein aikaväleihin. Mittausajojen tulosten perusteella on laskettu ajoneuvo- ja aikakustannusten summa kunakin ajankohtana kohdan 4.3 mukaisesti ja piirretty jokaiselle mittaustieosalle murtoviivana ajoneuvo- ja aikakustannusten summan muuttuminen ajan funktiona, kuvat 15 ja 16. Em. kuvissa on ajoanalysoitavien mittausten tulosten lisäksi esitetty tien pinnan kunnan arvostelu ja tien kantavuus, jota käsitellään lähemmin kohdassa 6.

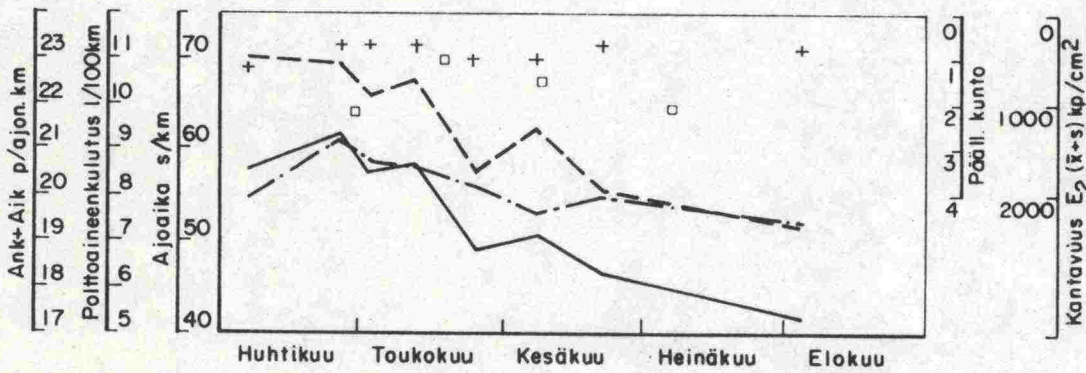
37 tieosalle piirrettyjen murtoviivojen perusteella lisääntyneitä ajokustannuksia on todettu esiintyvän pääasiassa 15.4.-15.7. välisenä 3 kk:n pituisena aikana. Tiemestareiden haastattelu osoitti pintakelirikon alkavan keskimäärin 15.4.-20.4. ja varsinaisen kelirikon loppumisen katsottiin ajoittuvan keskim. kesäkuun lopun ja heinäkuun lopun välille. Kohdan 6.41 liitteen 5 mukaan roudan pysyvän pintasulamisen alku ajoittuu juuri huhtikuun puoliväliin. Kelirikkoajan aiheuttamat ajokustannuslisät on määritetty em. 3 kk:n ajalta määrittämällä jokaisen mittaustieosan tapauksessa sen alueen pinta-ala, mikä jää em. aikajaksona murtoviivan ja kesäaikaa edustavan ajokustannuspisteen kautta piirretyn tason väliin. Vertailutasoksi on otettu v.1969 suoritettujen mittausten yhteydessä kesäkuun puolivälin jälkeisten kahden pienimmän kustannusarvon keskiarvo ja v.1971 suoritettujen mittausten yhteydessä kahdesta viimeisestä mittausajosta saaduista kustannusarvoista pienempi. Vertailutasot on valittu em. tavalla mittausajojen lukumäärän perusteella; v.1969 kesäkuun puolivälin jälkeen



Kuva 15. Esimerkkejä ajoajan, polttoaineenkulutuksen, ajoneuvo- ja aikakustannusten summan, päällysteen kunnon ja kantavuuden muuttumisesta routivilla sorateilla.



a.
 Tieosa 070
 Konnevesi-
 Istunmäki
 Os, lievästi
 routiva



b.
 Tieosa 0902
 Muikunlahti-
 Kärnä
 Os, erittäin
 routiva

Kuva 16. Esimerkkejä ajoajan, polttoaineenkulutuksen, ajoneuvo- ja aikakustannusten summan, päällysteen kunnon ja kantavuuden muuttumisesta routivilla öljysorateilla.

suoritettiin 3 mittausajoa ja v.1971 kaksi, joista kesäkuun mittausajoista lasketut kustannusarvot olivat useimmiten huomattavasti suurempia kuin viimeisen mittausajon tulokset. Jakamalla em. tavalla määritetty pinta-ala ajalla (3 kk) saadaan kelirikkoajan keskim. ajokustannuslisä (p/ajon·km) ja vertaamalla sitä ko. vertailutason ajokustannusarvoon saadaan ajokustannuslisä prosentteina.

Tavoitteena oli selvittää teiden routimisen vaikutus ajokustannuksiin sora- ja öljysorateilla ottaen huomioon kelirikon vaikeus, kelirikkoaste. Tätä varten tutkimuksessa mukana olleet 27 soratieosaa jaettiin kolmeen luokkaan: erittäin routiviin, lievästi routiviin ja teihin, joilla todettiin keväällä vain pintapehmenemistä. Öljysorateilla ei pintapehmenemistä voida todeta, joten mitatut 10 öljysoratieosaa jaettiin erittäin routiviin ja lievästi routiviin teihin. Jakoperusteena käytettiin v.1971 suoritettujen mittauksen yhteydessä ajopöytäkirjamerkintöjä ja annettuja päällysteen kunnon subjektiivisia pistelukuja. V.1969 mittauksissa mukana olleet tieosat luokiteltiin pelkästään ajopöytäkirjamerkintöjen perusteella. Tutkimustieosien jakautuminen eri luokkiin, ajokustannusten vertailutasot ja kelirikkoajan ajokustannuksiin aiheuttamat lisät on esitetty taulukossa 8. Arvion siitä, miten kelirikon aiheuttamat ajokustannuslisät muuttuvat eri vuosina, antaa neljällä tiellä sekä vuonna 1969 että vuonna 1971 suoritettut mittaukset. Ajokustannuslisät ja arvioitu kelirikkoaste em. neljältä tieltä olivat seuraavat (vrt. taulukko 8):

tieosa	päällyste	kelirikkoaste	ajokustannuslisät (%)
			v.1971/v.1969
0901/081	Sr	lr/er	9.23/13.18
0903/071	Sr	lr/lr	10.36/ 9.58
0904/090	Ös	er/er	14.42/14.71
0905/132	Sr	er/er	26.68/33.40

Vertailun mukaan eivät kelirikon aiheuttamat ajokustannuslisät poikkea toisistaan paljoakaan eri vuosina.

Laskemalla / taulukon 8 eri luokkien ajokustannuslisien keskiarvot saadaan taulukko 9, josta saadaan 3 kk:n kelirikkoaikana henkilöauton

Taulukko 8 . Tutkimustieosille määritetyt ajoneuvo- ja aikakustannusten summa kesällä sekä 3 kk:n kelirikkoajan siihen aiheuttama lisä.

Savisoratiet									Öljysoratiet					
Pinta-ajoneminen			Lievästi routiva			Erittäin routiva			Lievästi routiva			Erittäin routiva		
Tieosan koodi	Ank+Aik p/ajon. km	Kust.lisä %	Tieosan koodi	Ank+Aik p/ajon. km	Kust.lisä %	Tieosan koodi	Ank+Aik p/ajon. km	Kust.lisä %	Tieosan koodi	Ank+Aik p/ajon. km	Kust.lisä %	Tieosan koodi	Ank+Aik p/ajon. km	Kust.lisä %
021	18.3	2.90	091	17.9	4.36	112	19.1	10.08	020	17.1	4.10	030	17.8	8.26
0603	17.6	3.74	072	18.2	7.25	111	18.1	10.45	080	17.2	4.48	0902	17.3	11.98
0908	17.8	4.43	092	17.8	7.37	1303	16.7	10.51	050	17.6	4.81	0904	17.5	14.42
031	17.8	5.34	1302	17.1	8.46	121	18.3	11.21	070	16.8	5.31	090	17.3	14.71
0602	19.5	5.50	1101	16.0	8.93	0909	17.1	12.87	0906	16.8	7.51			
041	17.7	5.94	0801	17.6	9.00	081	17.8	13.18	010	17.0	8.37			
			0901	16.9	9.23	0907	17.2	13.98						
			141	17.6	9.37	0905	18.0	26.68						
			071	18.0	9.58	132	19.0	33.40						
			101	18.1	10.07	131	18.6	35.59						
			0903	17.6	10.36									

ajokustannuksiin tulevat keskimääräiset lisät kelirikkoasteen eri luokissa.

Taulukko 9. 3 kk:n kelirikkoaikana henkilöauton ajokustannuksiin (ilman onn.kust.) tulevat keskimääräiset lisät.

Kelirikkoaste	Ajokustannuslisä %	
	Soratie	Öljysoratie
pintapehmeneminen	4.6	-
lievästi routiva	8.5	5.8
erittäin routiva	17.8	12.3

Määrittämällä tieosittain kelirikon aiheuttama lisääntynyt ajoaika ja polttoaineenkulutus vastaavalla tavalla kuin kelirikon aiheuttama ajokustannuslisä (pinta-alojen perusteella) saadaan edelleen taulukossa 10 mainitut keskim. prosenttiset lisät. On huomattava, että ajonopeuden vaikutusta polttoaineenkulutukseen ei tällöin voida ottaa huomioon eikä taulukoiden 9 ja 10 välillä siten ole mitään suoranaista yhteyttä.

Taulukko 10. 3 kk:n kelirikkoaikana henkilöauton polttoaineenkulutukseen ja ajoaikaan tulevat keskimääräiset lisät.

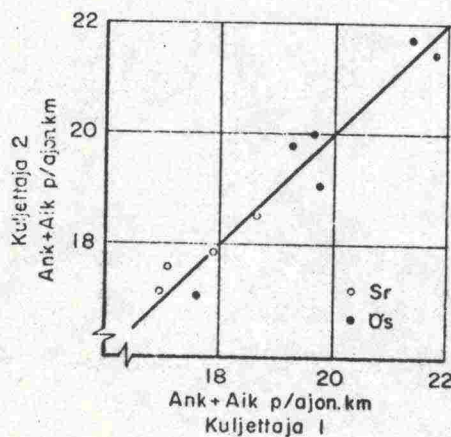
Kelirikkoaste	Polttoaineenkulutusslisä %		Ajoaikalisä %	
	Soratie	Öljysoratie	Soratie	Öljysoratie
pintapehmeneminen	13.0	-	3.1	-
lievästi routiva	21.8	11.6	5.6	6.1
erittäin routiva	31.5	26.8	18.6	9.7

Todettakoon, että keskim. polttoaineenkulutuksen prosenttinen lisä vaihteli kelirikkoasteen eri luokissa seuraavien rajojen sisällä: pintapehmenneillä sorateilla 8.5-18.5 %, lievästi routivilla sorateilla 18.9-25.0% ja erittäin routivilla sorateilla 22.9-46.7 %. Öljysorateilla vaihteluväli oli lievästi routivilla öljysorateilla 9.0-16.3 % ja erittäin routivilla öljysorateilla 18.2-36.1 %.

5.6 Kuljettajan vaikutus ajokustannusten suuruuteen

Polttoaineenkulutustutkimuksissa on kuljettajan ajotavan vaikutuksen selvittäminen saatuihin tuloksiin hyvin vaikeaa. Tiettyyn tutkimukseen kuuluvissa mittauksissa olisi sen vuoksi käytettävä samaa kuljettajaa, jollei nimenomaan haluta tutkia kuljettajan vaikutusta tuloksiin. Tämän tutkimuksen mittauksissa on kuljettajana toiminut sama henkilö kaikissa ennen v.1971 kesäkuun lopun mittauksia, jonka jälkeen kuljettajaksi siirtyi ajoanalyysoijattorin hoitaja vakinaisen kuljettajan siirryttyä muihin tehtäviin.

Vakinaisen kuljettajan (kuljettaja 1) ja mittaukset loppuunsaattaneen kuljettajan (kuljettaja 2) ajotapojen vertaamiseksi suoritettiin 8.6.1972 mittauksia 5 kelirikkoisella tieosalla. Saadut tulokset on esitetty kuvassa 17, jossa havaintopisteinä on tieosan yhdessä suunnassa saadut arvot. Suurin havaittu ajokustannusten ero on ollut alle 4 %, joten kuljettajanvaihdon ei voida katsoa oleellisesti vaikuttaneen ajokustannusten arvoihin.



Kuva 17. Vertailu eri kuljettajien 5 routivalla tieosalla suorittamien mittausajojen kesken.

5.7 Kuorma-autolla suoritettu vertaileva tutkimus

5.71 Tutkimusaineiston hankinta

Raskaan auton ajokustannusten selvittämiseksi kelirikkoisilla teillä suoritettiin vertaileva tutkimus ajamalla kuorma-autolla Sisu K-148, jonka kokonaispaino oli n. 11 tn, 7 kelirikkoisella

tieosalla. Kokonaispaino valittiin ns. raskaan tyyppiauton kokonaispainon perusteella (taulukko 5). Mittausajot suoritettiin 4.5.1971 ja tuloksia verrattiin edellisenä päivänä samoilla tieosilla tutkimusautolla 1 saatuihin tuloksiin. Kuljettajana sekä kuorma-autolla että henkilöautolla suoritetuissa mittauksissa toimi sama henkilö. Jokainen mittaus-tieosa ajettiin kummallakin autolla kaksi kertaa edestakaisin.

5.72 Tutkimusaineiston käsittely ja saadut tulokset

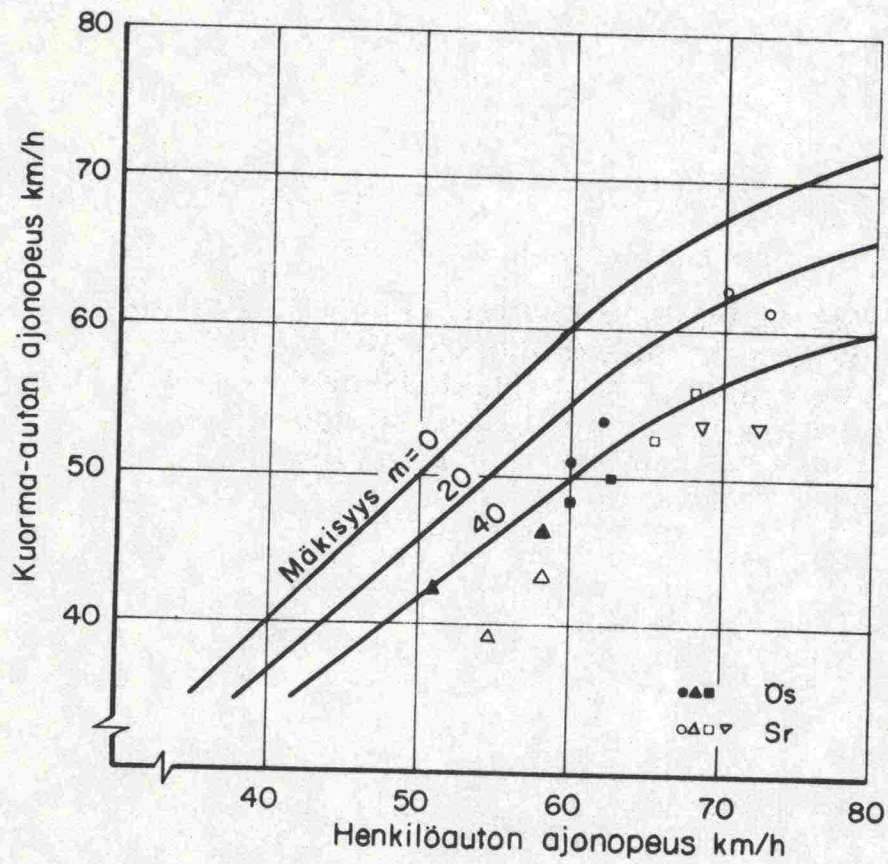
Mittaustuloksista laskettiin tutkimusautojen ajonopeus (km/h), polttoaineenkulutus (l/100 km) ja ajoneuvo- ja aikakustannusten summa (p/ajon.km) jokaiselta mittaustieosalta erikseen molemmissa suunnissa kahden mittaustuloksen keskiarvona. Vertailtaessa tutkimusautoilla saatuja tuloksia toisiinsa ei tien erilainen geometria eri ajosuunnissa vaikuta lopputuloksiin vääristävästi, joten mittaustieosan eri suuntien tuloksia voidaan pitää erillisinä havaintoina. Saatujen mallien yhteydessä on esitetty vain korrelaatiokerroin eikä mallien tilastollista edustavuutta ole tarkasteltu aineiston pienuuden vuoksi.

5.721 Ajonopeuksien välinen yhteys

Kuvassa 18 on esitetty tutkimusautojen ajonopeudet sekä raskaan auton ja kevyen auton nopeuksien välinen yhteys mäkisyyden vaihdellessa /1 /. Kuorma-auton ajonopeudet ovat olleet keskimäärin 10 km/h...15 km/h henkilöauton ajonopeutta pienempiä. Lähteen /1 / mukaan nopeuksien ero on alle 6 km/h mäkisyyden ollessa muilla maanteillä usein esiintyvää luokkaa 20 m/km.

5.722 Polttoaineenkulutusten välinen yhteys

Tutkimusautojen polttoaineenkulutusten vertaamiseksi laskettiin molempien autojen suhteelliset polttoaineenkulutukset kunkin mittaustieosan molemmissa suunnissa. Vertailukäyrinä käytettiin autojen polttoaineenkulutusta ideaalisissa tieolosuhteissa; henkilöauton vertailukäyrä kuvan 8 käyrä 1 ja kuorma-auton vertailukäyrä kuvan 10 suora 5, jonka on oletettu jatkuvan suoraviivaisena nopeuden arvoon 40 km/h saakka ja jonka yhtälö on :



Kuva 18. Tutkimusautojen Saab 96 ja Sisu K-148 ajonopeuksien välinen yhteys kelirikkoteillä sekä raskaan ajoneuvon ja kevyen ajoneuvon nopeuksien välinen yhteys mäkisyyden vaihdellessa./1/

$$p = 0.417 \cdot v - 4.94, \quad R = 0.999 \quad (17)$$

jossa, p on polttoaineenkulutus (l/100 km)
 v on nopeus (km/h)

Tarkastelemalla sorateitä ja öljysorateitä omina havaintoryhminään saatiin seuraavat riippuvuudet:

$$\text{soratiet} \quad y = 3.042 \cdot x - 2.435, \quad R = 0.881 \quad (18)$$

$$\text{öljysoratiet} \quad y = 2.151 \cdot x - 1.689, \quad R = 0.974 \quad (19)$$

/i
jossa, y on kuorma-auton suht. polttoaineenkulutus
 x on henkilöauton suht. polttoaineenkulutus

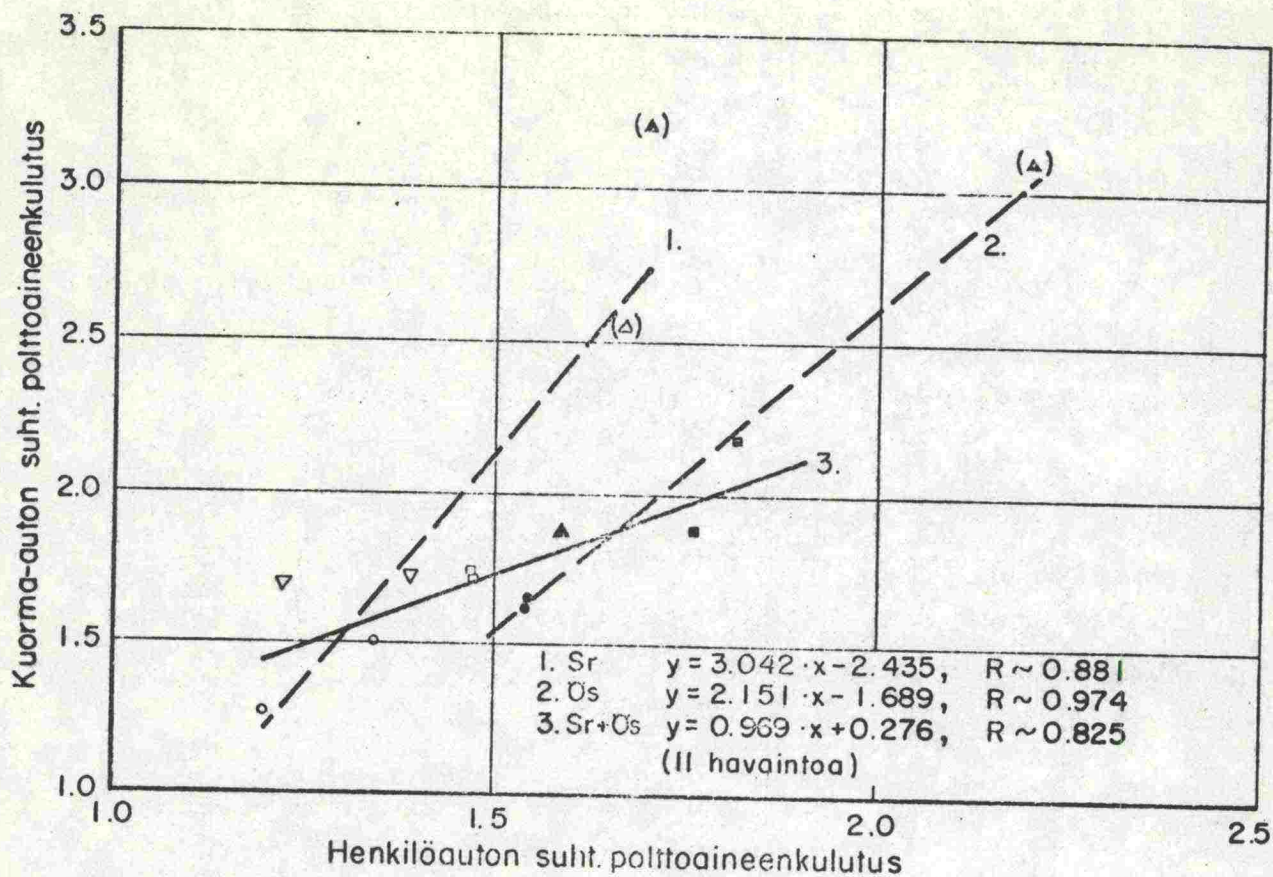
Yhtälöiden (18) ja (19) esittämät suorat ja polttoaineenkulutushavainnot on esitetty kuvassa 19.

Aineiston pienuudesta johtuen kummankin suoran suuntaan vaikuttavat erittäin voimakkaasti kuorma-autolla havaitut suuret polttoaineenkulutusarvot. Näissä kuvassa 19 merkityissä 3 pisteessä kuorma-auton ajonopeus on kuitenkin ollut alle 44 km/h (kuva 18) ja polttoaineenkulutus ideaalisissa tieolosuhteissa näillä nopeuksilla lienee yhtälöstä (17) saatuja polttoaineenkulutusarvoja suurempia. Tämä johtuu kokonaisvälityssuhteen muuttumisesta ajonopeuden pienentyessä.

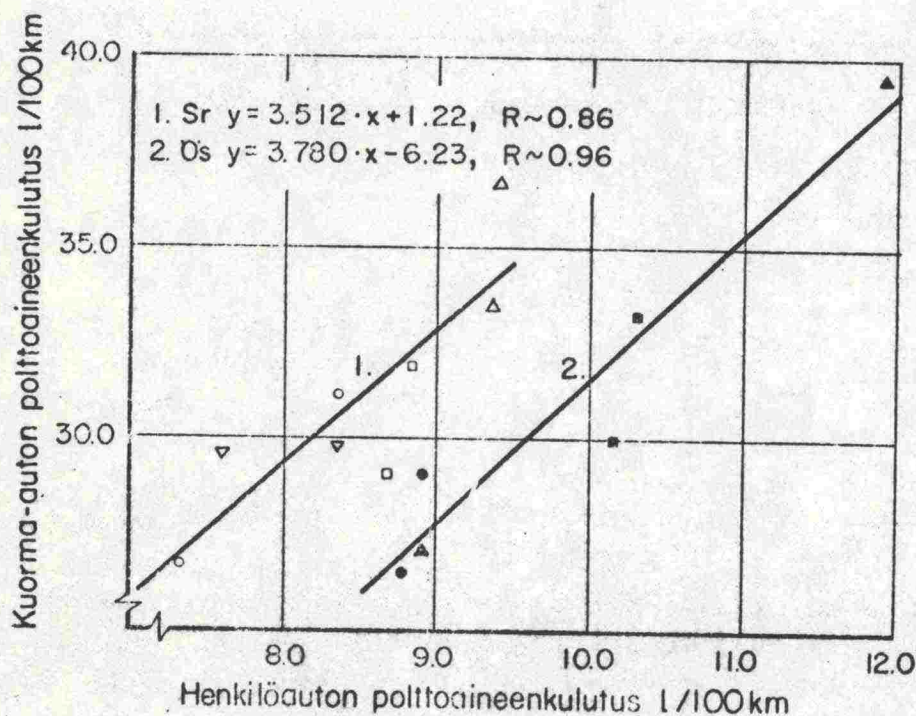
Kuvassa 19 suluissa esitetyt kuorma-auton suht. polttoaineenkulutusarvot ovat siten jonkin verran liian suuria. Kuvan 19 suorat 1 ja 2 antavat kuitenkin viitteitä siitä, että tiettyä henkilöauton suht. polttoaineenkulutusta vastaava kuorma-auton suht. polttoaineenkulutusarvo on sorateilla suurempi kuin öljysorateilla. Tämä johtunee siitä, että kuorma-auton vierintävastusten ero kelirikkoisten sorateiden ja öljysorateiden välillä on suhteellisesti suurempi kuin henkilöauton vastaava ero.

Jättämällä sora- ja öljysorateiltä saadusta havaintomateriaalista pois em. 3 havaintopistettä saadaan suht. polttoaineenkulutusten väliseksi riippuvuudeksi:

$$\text{sora- ja öljysoratiet} \quad y = 0.969 \cdot x + 0.276, \quad R = 0.825 \quad (20)$$



Kuva 19. Tutkimusautojen Saab 96 ja Sisu K-148 suhteellisten polttoaineenkulutusten välinen yhteys kelirikkoteillä.



Kuva 20. Tutkimusautojen Saab 96 ja Sisu K-148 polttoaineenkulutusten välinen yhteys kelirikkoteillä.

jossa, y on kuorma-auton suht. polttoaineenkulutus
 x on henkilöauton suht. polttoaineenkulutus

Yhtälön 20 esittämä riippuvuus on esitetty kuvassa 19 .
Sen mukaan muuttuu kuorma-auton suht. polttoaineenkulutus
noin 1.45 - 2.10:een henkilöauton suht. polttoaineenkulutuk-
sen muuttuessa 1.20...1.90:een. Kuorma-auton suht. poltto-
aineenkulutus on siten keskimäärin henkilöauton suht. polt-
toaineenkulutus lisättynä 0.20:llä.

Mittauksista laskettuja keskim. polttoaineenkulutuksia
(1/100 km) kunkin tieosan eri suunnilta käsiteltiin kahtena
havaintoryhmänä (soratiet, öljysoratiet) ryhmien ilmeisen
toisistaan poikkeavuuden vuoksi.

Kuorma-auton ja henkilöauton tutkimustieosilla havaittujen
keskim. polttoaineenkulutusten (1/100 km) välille saatiin
seuraavat suoraviivaiset riippuvuudet:

$$\text{soratiet} \quad \bar{p}_{KA} = 3.512 \cdot \bar{p}_{HA} + 1.22, R \quad 0.86 \quad (21)$$

$$\text{öljysoratiet} \quad \bar{p}_{KA} = 3.780 \cdot \bar{p}_{HA} - 6.23, R \quad 0.96 \quad (22)$$

joissa, \bar{p}_{KA} on kuorma-auton keskim. polttoaineenkulutus
(1/100 km)

\bar{p}_{HA} on henkilöauton keskim. polttoaineenkulutus
(1/100 km)

Yhtälöiden osoittamat riippuvuudet on esitetty kuvassa 20 .

Vertaillaessa keskim. polttoaineenkulutuksia (1/100 km) mit-
tauskohteittain jää ajonopeuden vaikutus huomioimatta. Mittaus-
autojen ajonopeuksien välisen kuvan 18 osoittaman yhteyden
vuoksi on polttoaineenkulutusten välillä kuitenkin melko selvä
riippuvuus. Kuvan 20 regressiosuorien mukaan kuorma-auton
polttoaineenkulutus on n. 5 l/100 km suurempi routivilla sora-
teillä routiviin öljysorateihin verrattuna.

5.723 Ajoneuvo- ja aikakustannusten välinen yhteys

Mittaustuloksista määritettiin ajoneuvo- ja aikakustannusten summa kohdassa 4.3 esitettyjen ajokustannuskaavojen avulla. Ajokustannuskaavat ovat vuodelle 1970 seuraavat:

$$\text{kevyt ajoneuvo: } \text{Ank} + \text{Aik} = 0.789 \cdot \bar{p} + 4.13 + 510/v \quad (23)$$

$$\text{raskas ajoneuvo: } \text{Ank} + \text{Aik} = 0.600 \cdot \bar{p} + 11.28 + 1190/v \quad (24)$$

joissa, Ank on ajoneuvokustannus (p/ajon.km)
 Aik on aikakustannus (p/ajon.km)
 \bar{p} on polttoaineenkulutus (l/100 km)
 v on ajonopeus (km/h)

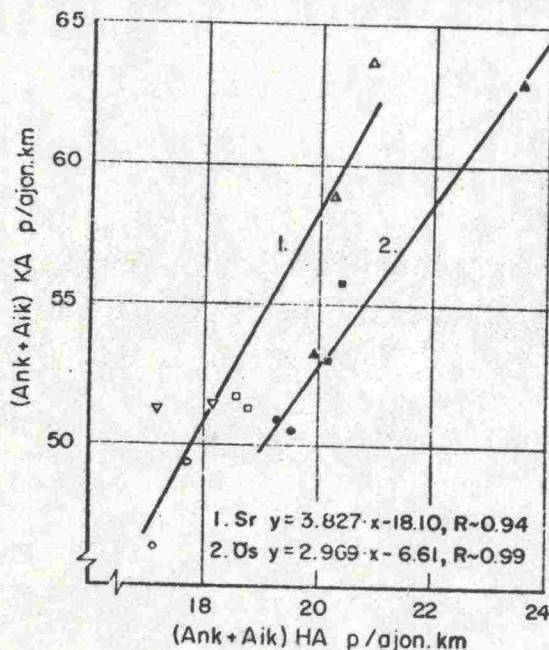
Sora- ja öljysorateiltä saadut havainnot käsiteltiin erillisinä havaintojoukkoina. Kuorma-auton ja henkilöauton ajoneuvo- ja aikakustannusten summan välille saatiin seuraavat suora- viivaiset riippuvuudet:

$$\text{soratiet: } y = 3.827 \cdot x - 18.10, \quad R = 0.94 \quad (25)$$

$$\text{öljysoratiet: } y = 2.969 \cdot x - 6.61, \quad R = 0.99 \quad (26)$$

joissa, y on kuorma-auton ajoneuvo- ja aikakust. summa
 x on henkilöauton ajoneuvo- ja aikakust. summa

Yhtälöiden (25) ja (26) esittämät riippuvuudet on esitetty kuvassa 21. Kuorma-auton ajoneuvo- ja aikakustannusten summa on yhtälöiden (25) ja (26) mukaan n. 5.0...6.5 p/ajon.km suurempi routivilla sorateilla routiviin öljysorateihin verrattuna.



Kuva 21. Tutkimusautojen Saab 96 ja Sisu K-148 ajokustannusten (ei onn. kust.) välinen yhteys kelirikkoteilla (v.1970 hinnoin)

6. BENKELMAN-PALKILLA SUORITETUT KANTAVUUSMITTAUKSET KELIRIKKOTEILLÄ JA SAADUT TULOKSET

6.1 Tutkimusaineiston hankinta

Kelirikkoteiden kantavuuden ja erityisesti kevätkantavuuden selvittämiseksi suoritettiin keväällä ja kesällä 1971 kantavuusmittauksia Benkelman-palkilla liitteessä 1 mainituilla 49 tieosalla. Tieosien jakautuminen eri tielajeihin sekä eri tielajien yhteenlaskettu pituus oli seuraava:

soramaantiet	34 kpl	240 km
sorapaikallistiet	3 kpl	21 km
öljysoramaantiet	10 kpl	58 km
bitumiliuossoramaantiet	2 kpl	11 km
yhteensä	219 kpl	330 km

Mittaustieosia oli kaikissa tie- ja vesirakennuspiireissä ja mittaukset suoritettiin tv - piirien toimesta ennalta laaditun aikataulun mukaisesti. Kantavuusmittaukset tehtiin 6.4.-21.7.1971 välisenä aikana lukuunottamatta viittä Keski-Suomen tv- piirissä sijainnutta tieosaa, joilla suoritettiin lisämittauksia 3.9.-8.9.1971 välisenä aikana syyskantavuuden selvittämiseksi. Mittaukset pyrittiin suorittamaan samoina ajankohtina kaikissa tv - piireissä ja mittausten tulokset lähetettiin viimeisten mittausten jälkeen tvh:n teknillis-taloudelliseen toimistoon jatkokäsittelyä varten.

6.2 Kantavuusmittausten suoritustapa ja mittaustarkkuus

Kantavuusmittaukset kelirikkoteillä suoritettiin lähteen "Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa I"/6/ mukaisesti. Mittauksissa tarvittavasta kuorma-autosta annettiin seuraavat ohjeet: taka-akselipaino 8 tn (yhden kaksoispyörän paino on tällöin 4 tn), rengastyyppi 10"x20" ja renkaiden ilmanpaine 6.5 at.

Kantavuusmittaukset suoritettiin ns. staattista menetelmää käyttäen, jolloin vain kimmainenmuodonmuutos saadaan selville. Ns. dynaamisessa menetelmässä saadaan selville sekä kimmainen että pysyvä muodonmuutos, mutta käytännössä dynaaminen koe

on vaikeampi suorittaa ja staattisen kokeen antamien tulosten katsotaan riittävän.

Staattinen koe suoritetaan seuraavasti/6/: kuorma-auton toinen takapyörä ajetaan koepisteen kohdalle, minkä jälkeen Benkelman-palkin kärki sijoitetaan tarkasti kaksoispyörän keskelle alustaa vasten. Mittakello säädetään 0-asentoon, auto ajetaan pois ja kellosta luetaan tutkimuskohdan nousema. Useamman kuin kahden taipuman mittaamista samasta pisteestä on vältettävä alustan tiivistymisen vuoksi.

Kantavuusmittaukset suoritettiin kullakin koetieosalla lähteen / 2 / suosituksen mukaisesti 100 m:n välein ulkoraites- ta vuorotellen vasemmalta ja oikealta ajokaistalta. Kultakin koepisteeltä tehtiin kaksi havaintoa ja taipuma-arvot mer- kittiin liitteessä 3 esitetylle kenttälomakkeelle. Koepis- teet merkittiin paaluilla maastoon jotta mittaukset tapah- tuisivat samoilta pisteiltä eri ajankohtina.

Lähteen /6 / mukaan yksittäisen taipumamittauksen epätarkkuus on $\pm 10...30$ % suuruusluokkaa silloin, kun kysymyksessä ei ole jokin selvä virhe kuten esim. laitteen liikahtaminen. Koska havaintoja voidaan saada samalta tienosalta runsaasti, lisää tämä tuloseskiarvojen luotettavuutta. Virhelähteinä voidaan mainita seuraavat:

- Benkelman-palkin tukipisteiden liikahtaminen
- mittausautojen erilaiset renkaat ja renkaiden ilmanpaine
- mittakärjen virheellinen sijainti pyörään nähden
- tien kaltevuussuhteet
- plastinen muodonmuutos

Todettakoon, että sen maakerroksen paksuus, jonka kantavuutta Benkelman palkilla voidaan tutkia, on 4 tn pyöräpainoa käy- tettäessä n. 30...40 cm /6 /.

6.3 Tutkimusaineiston käsittely

6.31 Mittaustulosten käsittely

Kunkin mittauspisteen kohdalla suoritetusta kahdesta mittaustuloksesta laskettiin keskiarvo ja näiden keskiarvojen avulla laskettiin kullekin tieosalle taipuma-arvo \bar{x} em. keskiarvojen (n. 50...70 kpl tieosalta) keskiarvona. Saadun taipuma-arvon \bar{x} perusteella määritettiin liitteessä 4 /27/ esitetyn riippuvuuden avulla kullekin tieosalle niiden keskimääräistä kantavuutta osoittava E_2 -moduli, jonka merkintä on seuraavassa $E_2(\bar{x})$. Lisäämällä taipuma-arvoon \bar{x} pisteiden keskihajonta s sen ympärillä saadaan taipuma-arvo $\bar{x}+s$, jota arvoa pienempiä taipumia esiintyy n. 2/3:ssa havaintopisteistä. Määrittämällä tätä, tietä karakterisoivaa taipuma-arvoa $\bar{x}+s$, vastaava E_2 -moduli saadaan toinen tien kantavuutta kuvaava suure, jonka merkintä on seuraavassa $E_2(\bar{x}+s)$.

6.32 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Kantavuusmittausten tulosten käsittelyssä tutkittiin kantavuuden muuttumista ajan mukana eri alueilla sekä painorajoitusten ja liikennemäärän vaikutusta kantavuusarvoihin. Tutkimusmenetelminä on käytetty keskiarvojen testausta ja lineaarista regressioanalyysiä.

Kahta aineistosta laskettua keskiarvoa \bar{x}_1 ja \bar{x}_2 voidaan verrata toisiinsa t-testin avulla. Jos havainnot on poimittu kahdesta normaalisesta perusjoukosta, joiden keskihajonnat ovat yhtä suuret, lasketaan t-testisuure seuraavasta kaavasta /7/ /28/:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2 - 2}{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

jossa, \bar{x}_1 ja \bar{x}_2 ovat keskiarvot
 n_1 ja n_2 ovat havaintojen lukumäärät
 s_1 ja s_2 ovat keskihajonnat

Jos tilastollinen oletus $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ on oikea, on lasketun t-testisuureen arvo tavallinen $t(n_1 + n_2 - 2)$ -jakautuneen satunnaissuureen arvo.

Perusjoukkojen keskihajontojen yhtäsuuruus voidaan testata F-jakautumaa käyttäen. Jos aineistosta lasketun F-testisuureen arvo on tavallinen F-jakautuneen satunnaisuureen arvo, voidaan perusjoukkojen keskihajontoja pitää yhtä suurina. F-testisuure lasketaan kaavasta:

$$F = \frac{S_1/(n_1-1)}{S_2/(n_2-1)} \quad , \text{ vap.asteet } (n_1-1, n_2-1)$$

jossa S_1 ja S_2 ovat niitä neliösummia, joista vapausasteilla jakamalla saadaan perusjoukkojen varianssien estimaatit.

Jos perusjoukkojen varianssit todetaan erisuuriksi, t-testiä voidaan soveltaa vain approksimatiivisesti. Vapausasteluku f lasketaan tällöin kaavasta:

$$\frac{1}{f} = \frac{c^2}{n_1-1} + \frac{(1-c)^2}{n_2-1}$$

$$\text{jossa } c = \frac{s_1^2/n_1}{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}$$

Lineaarista regressioanalyysiä on selostettu pääpiirteissään jo kohdassa 5.42. Regressioanalyysissä käytetyt muuttujat ($X_1 \dots X_{11}$) ja niiden mittamistapa on esitetty taulukossa 11, jossa on esitetty myös kohdassa 6 kunnossapitokustannusten ja -suoritteiden selvittelyssä käytetyt muuttujat X_{12} , X_{13} ja X_{14} . Aineiston alustavassa käsittelyssä, jossa laskettiin muuttujien väliset korrelaatiokertoimet, käytettiin taulukossa 11 mainittujen muuttujien lisäksi seuraavia perusmuuttujia:

- HA+PA (KKVL)
- KA+LA (KKVL)
- hay (KKVL)
- kuormituskerrat (KVL) ja (KKVL)
(vastaavuuskertoimet sorateilla lähteen / 4 / mukaan)
- taipuma-arvot \bar{x} ja $\bar{x}+s$ keuhällä ja kesällä
- painorajoituksen kesto aika

Korrelaatiomatriisia laskettaessa käytettiin edellä lueteltujen ja taulukossa 11 mainittujen muuttujien lisäksi transformaatioina lähes kaikkien selittävien muuttujien neliöitä.

Parhaat korrelaatiot selitettävien muuttujien ja selittävien liikennemäärämuuttujien välillä todettiin KVL-arvoista laskettujen muuttujien X3, X4 ja X5 kohdalla. Kuormituskertojen ja painorajoitusten kestoajan sekä selitettävien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet olivat hyvin satunnaisia. Taipuma-arvot poistettiin lopullisesta käsittelystä lähinnä tulosten saamiseksi paremmin vertailukelpoiseksi muiden tutkimustulosten kanssa.

Liikennemäärät (muuttujat X3, X4 ja X5) on määritetty v.1970 suoritettun yleisen liikennelaskennan pistekohtaisten tulosten perusteella.

Muuttuja		Yksikkö
X3	HA+PA (KVL)	kpl
X4	KA+LA (KVL)	kpl
X5	hay (KVL)	kpl
X6	kevätkantavuus $E_2(\bar{x})$	kp/cm ²
X7	" $E_2(\bar{x}+s)$	kp/cm ²
X8	kesäkantavuus $E_2(\bar{x})$	kp/cm ²
X9	" $E_2(\bar{x}+s)$	kp/cm ²
X10	kesäkant.-kevätkant. (X8-X6)	kp/cm ²
X11	" " " (X9-X7)	kp/cm ²
X12	kunnossapitokustannukset	mk/km
X13	sorastusmäärä	i-m ³ /km(Sr,Ms), tn/km(Ös,Bls)
X14	höyläys- ja lanausmäärä(soratiet)	jkm/tiekm

6.33 Aineiston luotettavuus

Kantavuusmittausten yhteydessä esiintyvistä virhelähteistä on mainittu jo kohdassa 6.2. Voidaan olettaa, ettei taipumamittausten tarkkuus varsinkaan heikosti kantavilla sorateilla ole yhtä suuri kuin päällystetyillä teillä. Eri mittausautojen väliset erot ovat vaikuttaneet ainakin absoluuttisiin kantavuusarvoihin.

Liikennemäärätietoina on käytetty vuoden 1970 yleisen liikennelaskennan tuloksia (KVL). Voidaan olettaa, etteivät vuosien 1970 ja 1971 liikennemäärät poikkea ko. tarkkailuteilla paljoakaan toisistaan. Liikenteen kausivaihtelukäyrien /8 / mukaan liikennemäärät muilla maanteilla ovat KVL-arvojen suuruisia likimain toukokuussa. Seuraavan kolmen kuukauden ajan keskim. vuorokausiliikenne on n. 1.3 x KVL. Kelirikko puolestaan pienentäne liikennemääriä, joten kausivaihtelu tasoittuu ja todelliset liikennemäärät touko-, kesä- ja heinäkuussa saattavat olla hyvinkin lähellä todellisia KVL-arvoja. Yleisen liikennelaskennan KVL-arvojen määrittämiseen sisältyneet lukuisat virhelähteet heikentävät joka tapauksessa aineiston luotettavuutta.

6.4 Saadut tulokset sekä vertailu muihin tutkimuksiin

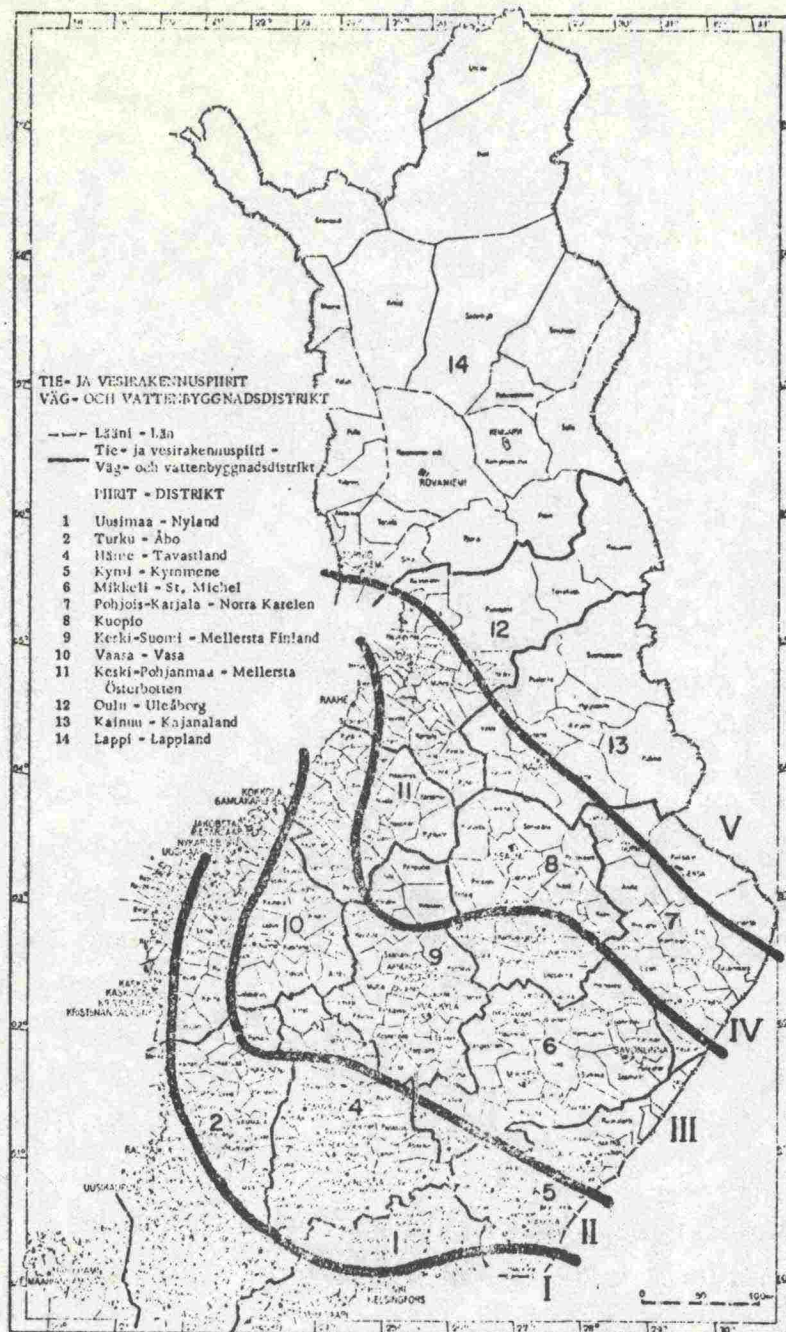
6.41 Tien sijainnin vaikutus kantavuuden muuttumiseen

Kelirikkoteiden kantavuuden muuttumista ajan mukana tutkittiin jakamalla tieosat viiteen luokkaan kuvassa 22 esitetyn roudan aluejaon mukaisesti /4 /. Aluejako perustuu vv.1958-1964 tehtyihin havaintoihin, jonka ajanjakson routakausien alkamisajankohdista ja pituuksista sekä roudan tunkeutumisesta maahan ja roudan sulamisesta on esitetty tietoja alueittain liitteessä 5 . Todettakoon, että ilmatieteellis-tilastollinen tarkastelu osoittaa ko. ajanjakson (1958-1964) keskiarvojen hyvin vastaavan keskimääräistä talvea pitemmältä ajalta.

Tarkasteltaessa kuvien 23 a-f esittämiä tieosille määritettyjä kantavuuskäyriä voidaan tehdä seuraavia havaintoja.

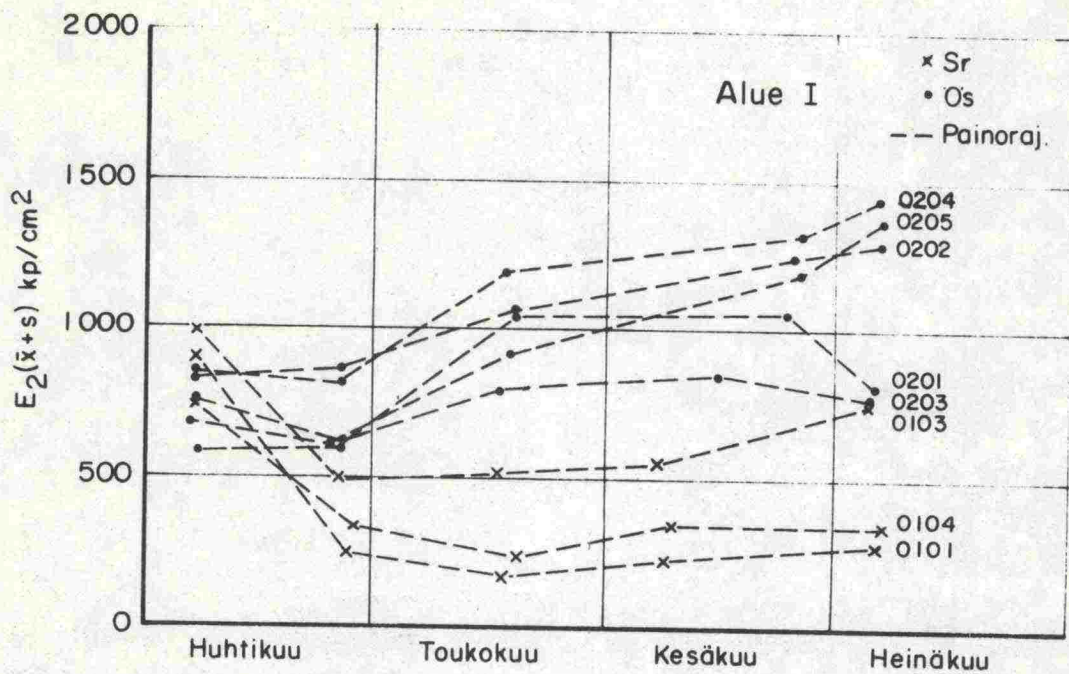
Alueilla I ja II, kuvat 23 a ja 23 b, pienimmät kantavuusarvot $E_2(\bar{x}+s)$ sorateilla on havaittu toukokuun puolivälissä suoritetuissa mittauksissa, jonka jälkeen teiden kantavuus on kasvanut melko jyrkästi kolmea painorajoitettua tietä lukuunottamatta. Öljysorateilla (mukana 2 Bls-tietä) kantavuudet ovat alkaneet kasvaa jo huhtikuun lopussa yhtä tietä lukuunottamatta, jonka pienin kantavuus on havaittu sorateiden kanssa samanaikaisena.

Alueella III, kuva 23c, ovat sorateilla havaitut kantavuusarvot yhtä tietä lukuunottamatta toukokuun puolivälissä ja

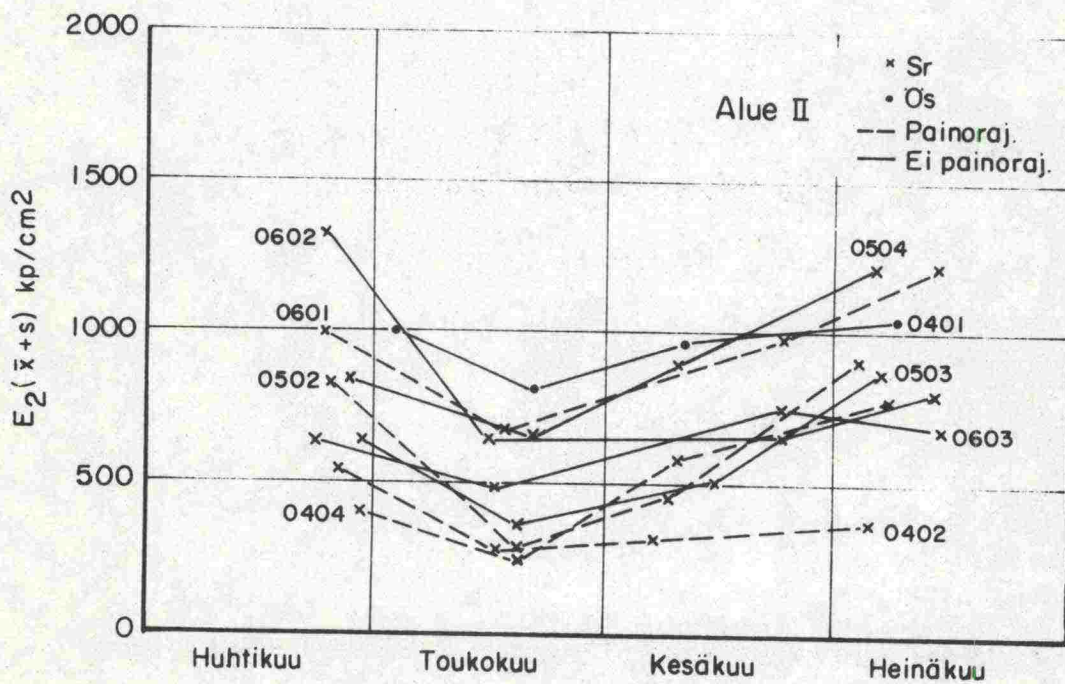


Kuva 22. Tie- ja vesirakennuspiirit sekä roudan aluejako

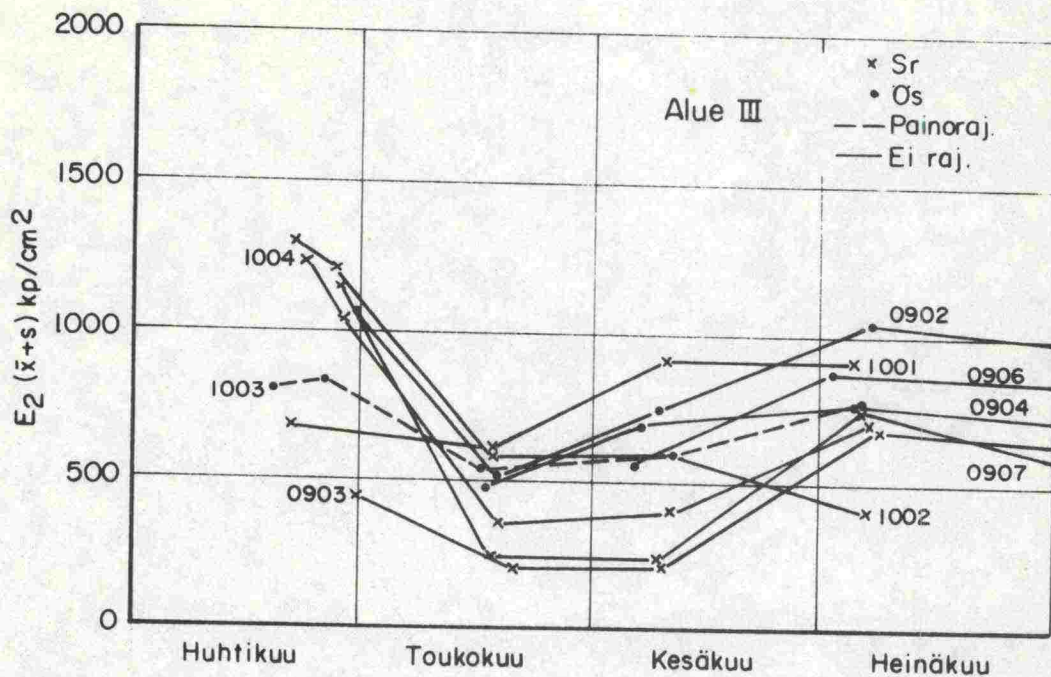
kesäkuun alkupuolella suoritetuissa mittauksissa lähes saman suuruiset eri tieosilla. Poikkeavan soratien kantavuus on huhtikuussa ja toukokuussa suoritetuissa mittauksissa ollut lähes sama, joten roudan sulaminen on ko. tieosalla alkanut huomattavasti muita sorateitä aikaisemmin. Öljysorateilla on pienin kantavuus mitattu toukokuun puolivälissä; tosin painorajoitetun tien kantavuus on kesäkuun mittauksessa todettu lähes toukokuun arvon suuruiseksi. Kantavuuden kasvunopeus on kesäkuun mittausten jälkeen lähes samaa luokkaa



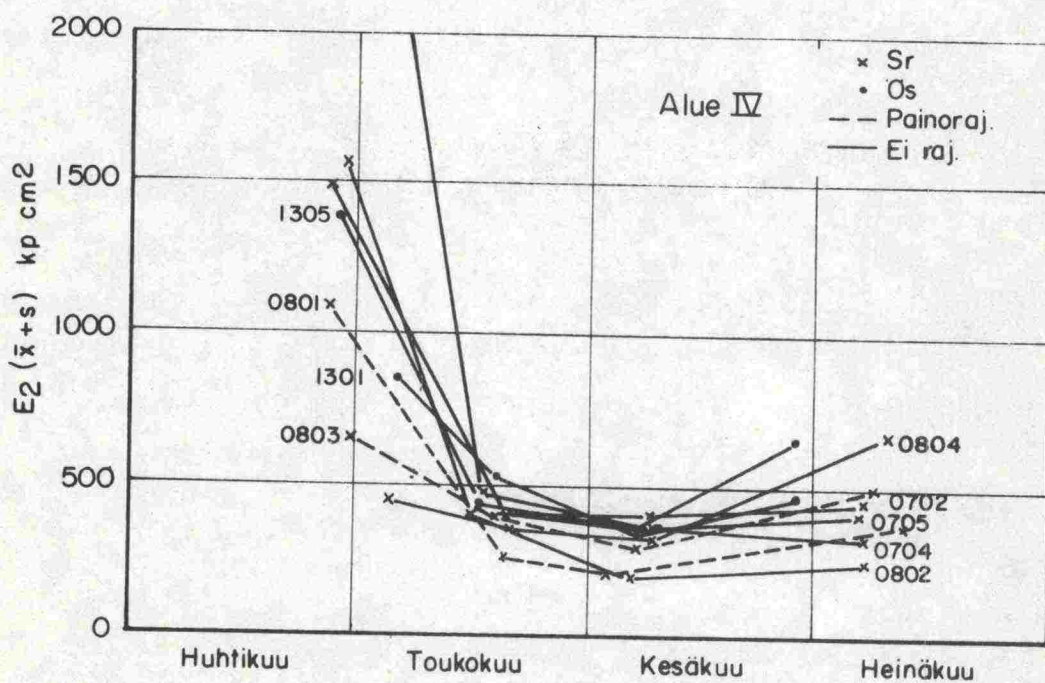
Kuva 23a. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella I.



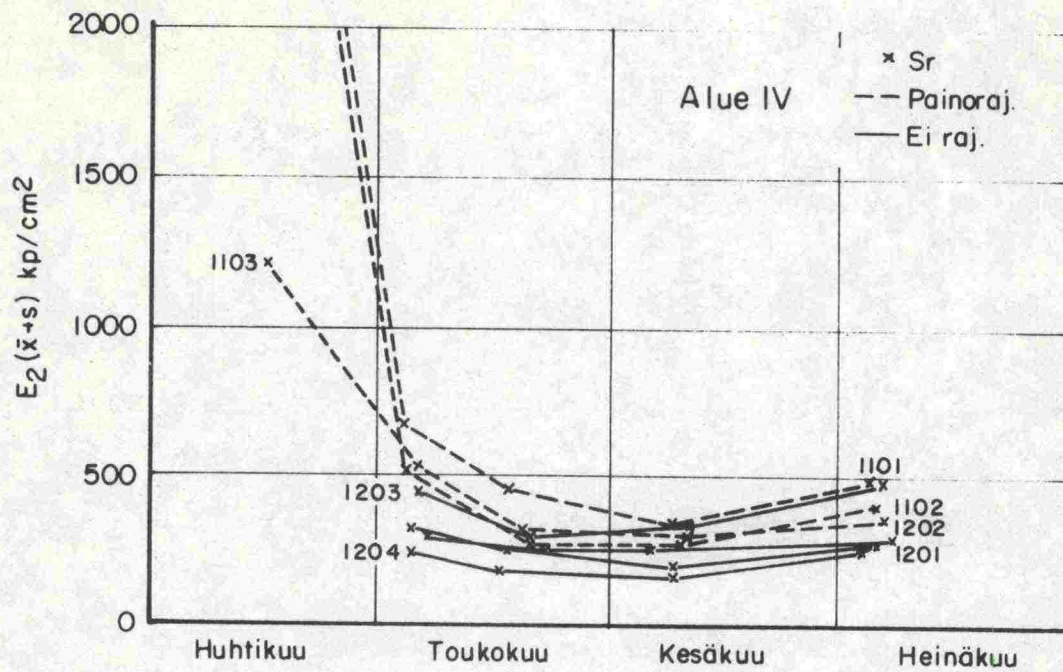
Kuva 23b. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella II.



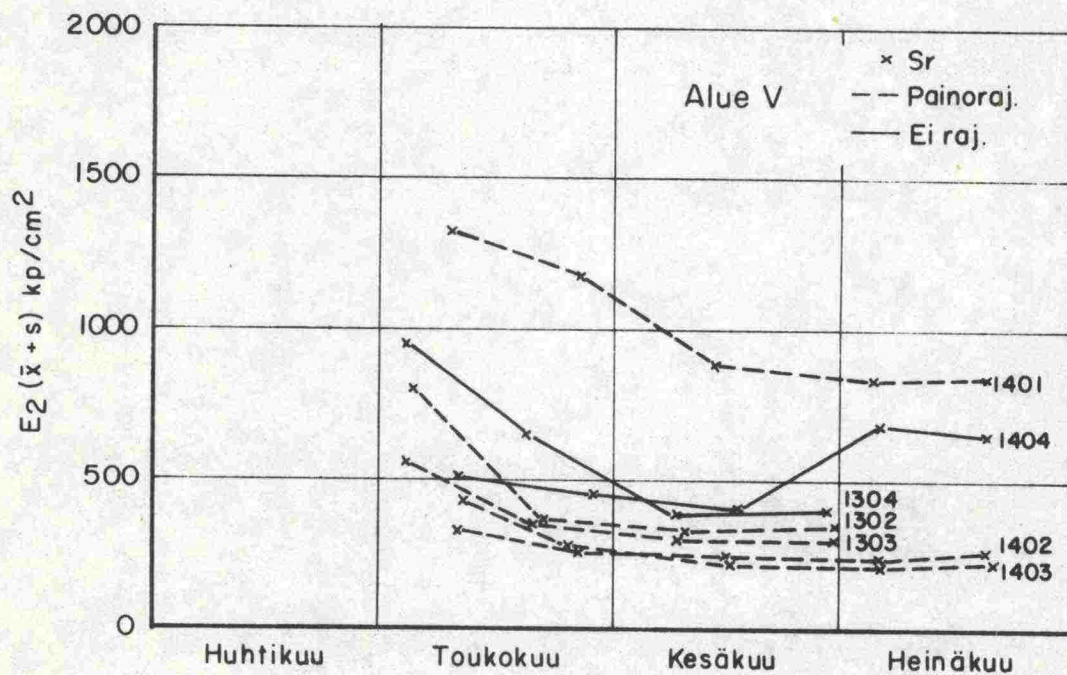
Kuva 23c. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella III.



Kuva 23d. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella IV.



Kuva 23e. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella IV.



Kuva 23f. Koetieosien kantavuuden muuttuminen ajan funktiona alueella V.

kuin alueella II. Heinäkuussa suoritettujen kantavuusmittausten tulosten oltua jo käytettävissä suoritettiin alueen III 5 tieosalla lisämittauskerta 3.9.-8.9.1971 välisenä aikana. Tarkoituksena oli selvittää, oliko teiden kantavuus heinäkuun mittauksiin mennessä saavuttanut täyden kesäkantavuutensa. Mittaustulosten perusteella todettiin syyskuussa saatujen $E_2(\bar{x}+s)$ -arvojen olevan 80...130 kpl/cm² heinäkuun vastaavia arvoja pienempiä yhtä soratietä lukuunottamatta, jolla syyskantavuus oli 380 kpl/cm² heinäkuun kantavuutta pienempi. Kuvan 23 c ko. 5 tieosan kantavuuskäyriä on jatkettu em. lisämittaustulosten perusteella. Niiden mukaan voidaan ko. 5 tieosan katsoa saavuttaneen täyden kantavuutensa heinäkuun puoliväliin mennessä.

Alueella IV, kuvat 23 d ja 23 e, pienimmät kantavuusarvot on saatu kesäkuun alkupuolella suoritetuissa mittauksissa, joskin lähes yhtä suuria kantavuusarvoja on saatu jo toukokuun puolivälin mittauksissa. Kantavuuden kasvu pienimmän kantavuusarvon mittaamisen jälkeen on kuitenkin alueella IV jäänyt miltei olemattomaksi poiketen siten alueista I-III. Teiden kantavuus on alueella IV pysynyt miltei samana lähes kahden kuukauden ajan.

Alueella V, kuva 23 f, kunkin soratien kantavuus on yhtä poikkeusta lukuunottamatta ollut lähes sama kesäkuun ja heinäkuun mittauksissa. Heinäkuussa suoritettujen mittausten mukaan kantavuuden kasvua ei juuri esiinny ainakaan heinäkuun aikana.

Lisäämällä liitteen 5 roudan pysyvän pintasulamisen keskim. alkupäivämääriin sulamiskauden keskim. pituus, saadaan pintasulamiskauden keskim. päättymisajoina seuraavat päivämäärät:

alue	roudan pintasulamiskauden keskim. päättymisajankohta
I	21.5.
II	26.5.
III	30.5.
IV	10.6.
V	20.6.

Tarkastelemalla kuvien 23 a-f perusteella kantavuuden muuttumista eri alueilla voidaan etenkin sorateiden kohdalla todeta pienimpien kantavuusarvojen havaitun em. päivämääriä lähimmän mittauskerran tuloksina. Niiden ajankohtien välisenä vaihe-erona, jolloin sorateiden kantavuus alkaa kasvaa pienimmästä arvostaan, voidaan alueiden I ja V välillä pitää vähintään kuukauden ajanjaksoa. Täyttä kesäkantavuutta alemman kantavuuden voidaan arvioida kestävän ainakin kuukauden roudan sulamiskauden päättymisen jälkeen.

6.42 Liikennerajoitusten määrittämisestä

Mitää ohjeita liikennerajoitusten asettamisajankohdalle ja kestolle ei ole annettu, jotta teiden vaurioituminen saataisiin estetyksi. Rajoitusten käyttäminen on lähinnä kunkin tiemestarin harkinnassa. Jotta liikenteelle aiheutettaisiin mahdollisimman vähän haittaa rajoitusten käytön vuoksi, olisi tien kantavuuden muuttumisesta oltava selvillä.

Kantavuusmittaukset Benkelman-palkilla antavat melko edullisen keinon tien kantavuuden määrittämiseksi. Olettamalla taipuma/kuormitus-kuvaaja suoraksi (Hooken lain mukaan) saadaan sallittavaksi kuormitukseksi:

$$P_{\text{sall}} = \frac{S_{\text{sall}}}{S} \cdot P$$

jossa, P_{sall}	on sallittu kuormitus
S_{sall}	on sallittu taipuma
P	on mittausauton kuormitus
S	on mitattu taipuma

Edellä mainittua menetelmää on kokeiltu mm. Länsi-Saksassa ja tulokset ovat osoittaneet menetelmän melko luotettavaksi liikennerajoitusten kestoajan määrittämiseksi. Todettakoon kuitenkin, että Länsi-Saksassa on kelirikonkin yhteydessä poikkeuksetta kysymys kestopäällystetyistä teistä.

Ennenkuin em. menetelmää voidaan soveltaa Suomessa, on ensin päätettävä em. kaavassa tarvittavien taipumien määrittäminen menetelmä sekä sallittavien taipumien suuruudet. Sallittuja

taipumia ei vielä ole määritetty Suomessa, joskin esitetyn menetelmän soveltuvuutta on jo alettu tutkia käytännössä. Tietoja sallittujen taipumien arvoista eräissä maissa on esitetty lähteessä /2 /.

Tässä tutkimuksessa saatujen kantavuusmittausten tulosten mukaan kantavuuden aleneminen keväällä tapahtuu usein hyvin nopeasti varsinkin sorateilla. Tämä edellyttäisi varsin lyhyin aikaväleihin suoritettuja kantavuusmittauksia, jos liikennerajoitus asetettaisiin mitattujen taipumien perusteella. Öljysorateiden kohdalla liikennerajoituksen asettaminen ko. menetelmällä saattaisi tulla kyseeseen.

Kelirikkoteiden kantavuuden kasvu tapahtuu useimmiten huomattavasti hitaammin kuin kantavuuden aleneminen. Liikennerajoitusten lieventämiseen tai poistamiseen taipumiin perustuva menetelmä näyttäisi siten soveltuvan edellistä paremmin.

6.43 Painorajoitusten vaikutus sorateiden kevätkantavuuteen

Tutkimusaineisto jaettiin päällysteen perusteella sorateihin ja kylmäpäällystetietiin. Sorapäällysteiset paikallistiet (4 kpl) käsiteltiin soramaanteiden ja Bls-maantiet (2 kpl) öljysoramaanteiden kanssa samoissa luokissa.

Painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen sorateiden kevätkantavuuksien vertaamiseksi laskettiin tieosien taipumien \bar{x} keskiarvot ja hajonnat em. luokissa sekä suoritettiin keskiarvojen testaus t-testillä. Testauksen kulku ja johtopäätösten teko suoritettiin seuraavasti:

luokka	keskiarvo (mm)	hajonta (mm)	tieosia (kpl)
painoraj.	$\bar{x}_1=2.51$	0.94	17
ei-painoraj.	$\bar{x}_2=2.25$	0.97	20

Hajontojen toisistaan poikkeavuuden testisuure:

$$F(19,17) = 1.06$$

Hajontoja voidaan pitää yhtä suurina testisuureen ollessa tavallinen F-jakautuneen satunnaissuureen arvo.

t-testisuureksi saadaan:

$$t(35) = 0.844$$

t-testisuureen arvo on tavallinen t-jakautuman arvo, joten sorateiden taipumien keskiarvoja eri luokissa ei voida pitää eri suurina millään merkitsevyystasolla.

Testattaessa sorateilla kesällä mitattujen taipumien avulla laskettujen luokkien keskiarvojen toisistaan poikkeavuutta em. tavalla todettiin, etteivät myöskään ne poikenneet toisistaan millään merkitsevyystasolla.

Kuinka paljon teiden kevätkantavuutta nostavasti painorajoitukset ovat vaikuttaneet, sitä ei tämän tutkimusaineiston perusteella voitane määrittää.

6.44 Liikenteen vaikutus kantavuuden alenemaan

Liikenteen vaikutusta kantavuutta alentavana tekijänä tutkittiin määrittämällä liikennemäärämuuttujien X3, X4 ja X5 sekä kantavuuden alenemaa osoittavien muuttujien X10 ja X11 väliset korrelaatiokertoimet (alueet I-IV):

muuttuja	Sr,painoraj.(12kpl)		Sr,eipainoraj(18kpl)		Ös,kaikki(12kpl)	
	X10	X11	X10	X11	X10	X11
X3	0.16828	-0.07461	0.11410	0.28859	0.14015	-0.02646
X4	0.17878	-0.12614	-0.04337	0.03714	-0.03253	-0.23981
X5	0.17638	-0.09129	0.07180	0.22822	0.06522	-0.12938

Yksikään em. korrelaatiokertoimista ei eroa nolasta edes melkein merkitsevästi. Vain positiivinen korrelaatio muuttujien välillä on loogisesti oikea.

Liikennemäärän ja kantavuuden aleneman välillä ei voida todeta merkittävää lineaarista riippuvuutta tutkitussa aineistossa. Syynä siihen, että riippuvuutta ei esiinny, lienee kesäkantavuuden jääminen usein lopullista kesäkantavuutta paljonkin pienemmäksi (alue IV) sekä liikennemäärien poikkeaminen KVL-arvoista.

6.45 Kantavuuden hajonta

Tieosien kantavuuksia kuvaavina suureina on käytetty kahta kantavuusarvoa, $E_2(\bar{x})$ ja $E_2(\bar{x}+s)$. Näiden väliset (muuttujat X6 ja X7, X8 ja X9) korrelaatiokertoimet todettiin erittäin suuriksi, mikä osoittaa kantavuuden hajonnan voimakasta riippuvuutta kantavuusarvosta.

Kantavuusarvojen hajonnan suuruuden selvittämiseksi määritettiin seuraavat lineaariset yhtälöt:

painorajoitetut soratiet, 17 kpl:

$$\text{kevät } X7 = 0.536 \cdot X6 + 30, s = 37, R = 0.9807^{xxx} \quad (27)$$

$$\text{kesä } X9 = 0.582 \cdot X8 - 27, s = 81, R = 0.9604^{xxx} \quad (28)$$

ei-painorajoitetut soratiet, 20 kpl:

$$\text{kevät } X7 = 0.555 \cdot X6 + 13, s = 36, R = 0.9697^{xxx} \quad (29)$$

$$\text{kesä } X9 = 0.647 \cdot X8 - 56, s = 78, R = 0.9558^{xxx} \quad (30)$$

kaikki soratiet, 37 kpl:

$$\text{kevät } X7 = 0.543 \cdot X6 + 23, s = 35, R = 0.9759^{xxx} \quad (31)$$

$$\text{kesä } X9 = 0.614 \cdot X8 - 38, s = 81, R = 0.9554^{xxx} \quad (32)$$

kaikki öljysoratiet, 12 kpl:

$$\text{kevät } X7 = 0.761 \cdot X6 - 90, s = 52, R = 0.9528^{xxx} \quad (33)$$

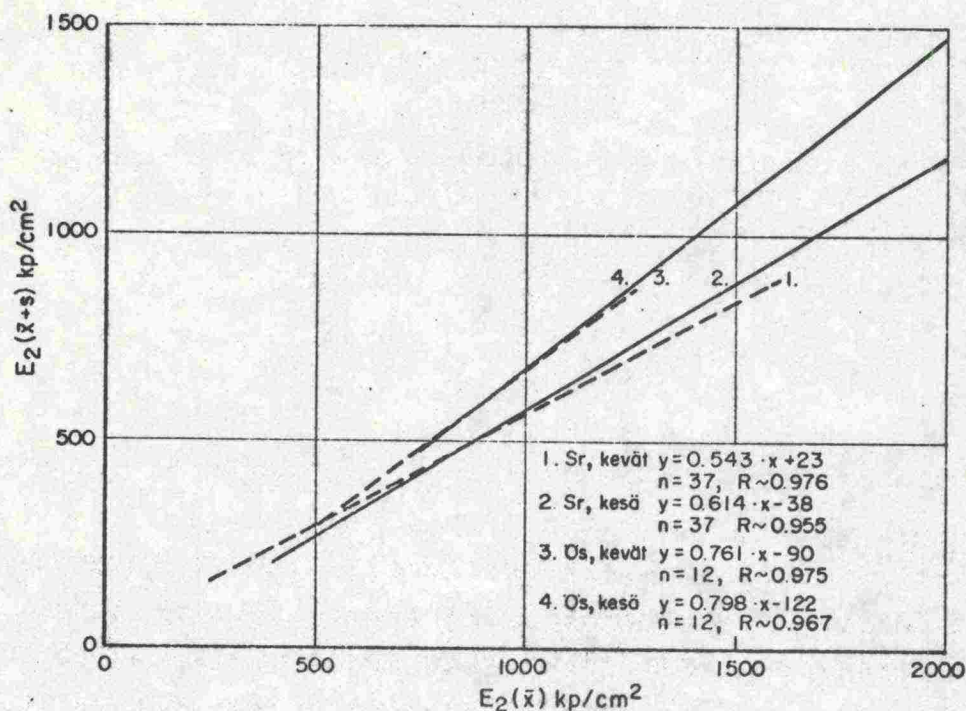
$$\text{kesä } X9 = 0.798 \cdot X8 - 122, s = 80, R = 0.9668^{xxx} \quad (34)$$

Kaikki em. yhtälöiden korrelaatiokertoimet poikkeavat nolasta erittäin merkitsevästi. Yhtälöiden vakio-osan suuruus ja etumerkki johtuu lähinnä havaintoaineiston epätasaisesta sijoitumisesta asteikolle.

Kevätkantavuuksien $E_2(\bar{x}+s)$ ja $E_2(\bar{x})$ välinen riippuvuus on painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen sorateiden luokissa lähes sama. Kesällä kantavuuden hajonta on painorajoitettujen sorateiden luokassa vain vähän suurempi kuin ei-painorajoitettujen sorateiden luokassa. Ero on kuitenkin alle 70 kp/cm^2 , kun $E_2(\bar{x})$ on pienempi kuin 1500 kp/cm^2 .

Öljysoratiet käsiteltiin yhtenä luokkana, sillä aineisto oli pieni ja näkyvää eroa painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen öljysorateiden kantavuuksien hajonnassa ei havaittu.

Kuvassa 24 on esitetty kantavuusarvojen $E_2(\bar{x}+s)$ ja $E_2(\bar{x})$ välinen yhteys sorateilla ja öljysorateilla sekä keväällä pienimmän kantavuuden aikaan että kesällä viimeisten kantavuusmittausten tulosten perusteella.



Kuva 24. Benkelman taipuma-arvojen keskiarvon perusteella määritetyn tien kantavuuden $E_2(\bar{x})$ ja keskiarvon + hajonnan perusteella määritetyn kantavuuden $E_2(\bar{x}+s)$ välinen yhteys routivilla sora- ja öljysorateilla.

Saaduista riippuvuuksista voidaan todeta mm. seuraavaa. Kantavuuden hajonta on sorateilla lähes sama keväällä ja kesällä sekä lisäksi miltei riippumaton siitä, onko tiellä painorajoitus vai ei. Myös öljysorateilla kantavuuden hajonta on keväällä ja kesällä miltei yhtä suuri. Absoluuttisesti sorateiden kantavuuden hajonta on kuitenkin keskim. suurempi kuin öljysorateilla, joskin ero pienillä kantavuusarvoilla on lähes olematon.

6.46 Kelirikkoteiden kevätkantavuus ja kesäkantavuus

Kevätkantavuuden ja kesäkantavuuden välistä riippuvuutta tutkittiin määrittämällä pienimmän havaitun kantavuusarvon, X7, ja suurimman kesällä havaitun kantavuusarvon, X9, välinen yhteys. Aineistosta poistettiin alueen V soratiet, koska kesäkantavuus on niillä jäänyt selvimmin kevätkantavuuden tasolle. Kevätkantavuudelle ja kesäkantavuudelle saatiin seuraavat riippuvuudet:

painorajoitetut soratiet, 12 kpl:

$$X7 = 0.362 \cdot X9 + 110, \quad R = 0.7630^{xx} \quad (35)$$

ei-painorajoitetut soratiet, 18 kpl:

$$X7 = 0.413 \cdot X9 + 117, \quad R = 0.7401^{xxx} \quad (36)$$

kaikki soratiet, 30 kpl:

$$X7 = 0.395 \cdot X9 + 113, \quad R = 0.7442^{xxx} \quad (37)$$

kaikki öljysoratiet, 12 kpl:

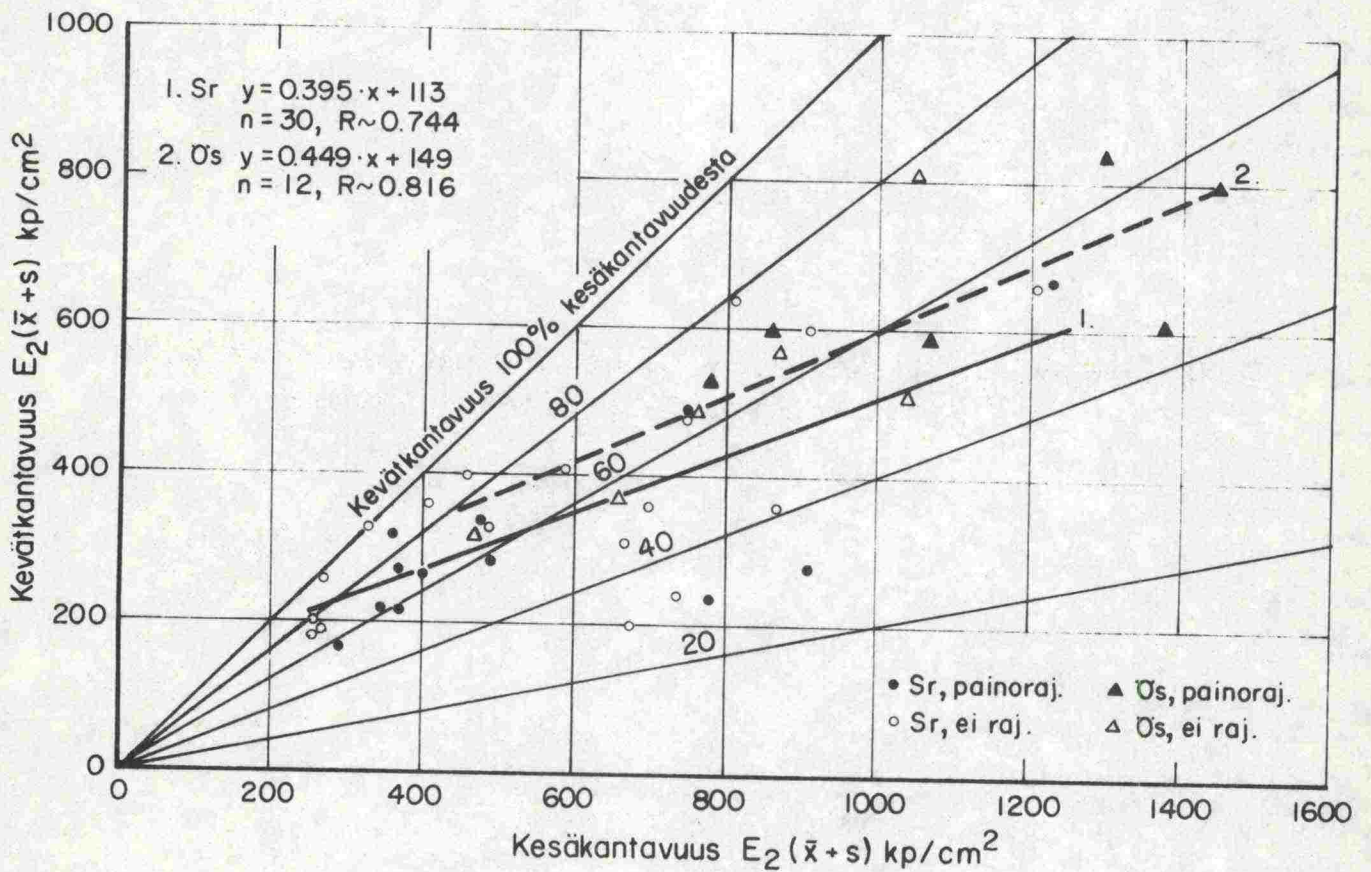
$$X7 = 0.449 \cdot X9 + 149, \quad R = 0.8165^{xx} \quad (38)$$

Korrelaatiokertoimien nollasta poikkeavuus on kahdessa keskimäisessä yhtälössä erittäin merkitsevä ja muissa merkitsevä. Kuvassa 25 on esitetty havaintopisteet ja yhtälöiden (37) ja (38) esittämät riippuvuudet.

Kevätkantavuus on yhtälöiden mukaan painorajoitetuilla sorateilla n. 50 kp/cm² pienempi kuin ei-painorajoitetuilla sorateilla, joilla on sama kesäkantavuus. Ero on kuitenkin merkityksetön ottaen huomioon estimaattien jäännöshajonnan. Öljysorateiden kevätkantavuuden voidaan todeta olevan 50...100 kp/cm² suuremman kuin sorateiden, joilla on sama kesäkantavuus.

Kevätkantavuus on tutkimuksen sorateilla n. 30..100 % kesäkantavuudesta ja öljysorateilla n. 45...80 % kesäkantavuudesta (kuva 25).

Saadut tulokset osoittavat kevätkantavuuden ja kesäkantavuuden suhteen olevan riippuvainen kesäkantavuuden suuruudesta. On kuitenkin huomattava, että lopullista kesäkantavuutta ei läheskään kaikilla teillä saavutettu viimeiseen mittaukseen mennessä.



Kuva 25. Kevätkantavuuden ja kesäkantavuuden välinen yhteys routivilla sora- ja öljysorateilla.

6.47 Sora- ja kylmöpäällysteisten teiden kantavuus

Laskemalla erikseen sorapäällysteisten ja öljysorapäällysteisten tieosien kevätkantavuusarvojen keskiarvot ja hajonnat saatiin seuraavaat tulokset:

	$\bar{E}_2(\bar{x})$	\bar{s}	$\bar{E}_2(\bar{x}+s)$	\bar{s}
Soratiet (37 tieosaa)	610	287	354	160
Öljysoratiet (12 tieosaa)	889	206	587	164

Luotettavaa vertailuaineistoa teiden kevätkantavuuksien ollessa kysessä ei liene saatavissa juuri nimeksikään. Yleensä kevätkantavuudet on arvioitu tiettyinä prosenttiosuuksina kesä- tai syyskantavuuksista. Tutkimuksessa /3/ suoritettiin levykuormituskokeita Kainuun tv-piirissä kolmella soratieosalla maanteillä Hyrynsalmi - Kyrö ja Ilves - Moisiovaara v.1970 keväällä roudan maasta sulamisen jälkeen ja syksyllä ennenkuin syyssateet pehmittivät tieosien pinnan. Kullakin tieosalla suoritettiin mittaukset sadan metrin välein vuoroin oikealta ja vasemmalta kaistalta yhden kilometrin matkalla. Kunkin tieosan kantavuus laskettiin saatujen 10 pisteen kantavuusarvojen keskiarvona ja tuloksiksi saatiin:

tieosa	kevät $E_2(\text{kp/cm}^2)$	syksy $E_2(\text{kp/cm}^2)$
1	676	1287
2	597	978
3	628	1330

Voidaan todeta, että em. levykuormituskokeiden antamat tieosien kevätkantavuusarvot ovat samaa luokkaa kelirikkoteiltä saatujen $E_2(\bar{x})$ -arvojen kanssa.

Vtt:n tie- ja liikennelaboratorion laatimassa tutkimusselostuksessa "Taipumamittaukset tierekisteriä varten" /16/ on esitetty piireittäin ja päällystetyypeittäin kevätkantavuusarvoja, jotka on saatu muuntamalla kesällä 1970 suoritettujen Benkelman-palkkimittausten tuloksina saadut tieosien kesäkantavuusarvot lähteestä "Ohjeet kantavuusmittausten suorittamiseksi tierekisteriä varten" saatavien muuntokertoimien

avulla kevätkantavuusarvoiksi. Tieosan (keskipituus n. 5 km) kesäkantavuutta kuvaavana taipuma-arvona on käytetty 10 satunnaislukujen avulla tieosalta valitun pisteen taipumien keskiarvoa lisättynä kaksinkertaisella hajonnalla, jolloin 2 %:lla ko. tien pituudesta on suurempi taipuma kuin laskettu taipuma-arvo olettaen, että taipumien jakautuma on normaalin. Taulukossa 12 on esitetty kevätkantavuuden tieosien pituuksilla painotettu keskiarvo piireittäin ja päällystetyypeittäin sekä mittaustieosien lukumäärät.

Taulukko 12 . Kevätkantavuusarvon painotettu keskiarvo piireittäin ja päällystetyypeittäin sekä mittaustieosien lukumäärät /16/.

Piiri	Kevätkantavuus		Tieosia (kpl)		
	E_2 (kp/cm ²)				
	Ös, Els				
	Sr	VT	KT	MT	
01	617	-	11	-	
	297	-	-	5	
02	334	-	7	-	
	-	-	-	-	
04	564	3	28	1	
	376	-	5	-	
05	1153	1	-	6	
	357	-	-	7	
06	1314	17	10	10	
	-	-	-	-	
07	1035	29	12	-	
	-	-	-	-	
08	1012	23	28	18	
	578	-	-	8	
09	944	10	7	6	
	285	-	-	10	
10	951	31	19	8	
	249	-	13	6	
11	855	38	-	46	
	-	-	-	-	
12	1341	67	16	20	
	439	7	14	-	
13	839	45	16	5	
	127	-	1	-	
14	813	101	13	-	
	315	40	68	-	

Taulukon 12 mukaan sorateiden kevätkantavuuksien piireittäin lasketut keskiarvot vaihtelevat välillä 127...578 kp/cm² ja öljy- ja bitumiliuossorateiden välillä 334...1341 kp/cm². Todettakoon, että tutkimuksessa mukana olleet ns.muut maantiet olivat liikenteellisesti tärkeitä maanteitä ja niiden kevätkantavuuden voi olettaa olevan melkoisesti kelirikkoisten sorateiden kevätkantavuuksia suurempia.

Lähteen /27/ mukaan teiden parantamissuunnitelmia varten suoritettavat varsinaiset Benkelman-palkkimittaukset on suoritettava kesällä. Mitoituksessa tarvittavan kevät- eli kelirikkokauden kantavuuden selvittämiseksi on suoritettava tarkistusmittauksia myös keväällä kriittillisenä kelirikkokautena, jolloin mittaukset suoritetaan noin viikon välein kolmena vähintään 10 mittauksen sarjana samoista tien kohdista. Kesäkantavuusarvot muunnetaan kevätkantavuudeksi kevät- ja kesäkantavuuden välisen suhteen avulla. Muuntokertoimia määritettäessä on ko. tieosan jaettava tarkoituksenmukaisiin osiin, joilla käytetään eri muuntolukuja. Jos tarkkailumittauksia ei ole voitu keväällä suorittaa, muutetaan bitumiliuossora- ja öljysorateiden kesäkantavuusarvot kevätkantavuudeksi päällysteen kunnon ja sorateiden kantavuusarvot tien routivuuden perusteella seuraavasti:

Päällysteen kunto	Tien routivuus	Kevätkantavuuskerroin
hyvä tai tyydyttävä	routimaton	0.80
välttävä	lievästi routiva	0.60
heikko tai hajonnut	erittäin routiva	0.40

Päällysteen kunnon ja soratien routivuuden arvosteleminen suoritetaan subjektiivisesti ko. lähteessä /27/ esitettyjen kuvausten perusteella.

Tieltä vaadittavasta kantavuudesta on esitetty seuraavia tietoja.

Tienpidon tarveselvitykseen vuodelle 1985 sovellettiin seuraavia kantavuusvaatimuksia (kant. määrittämismenetelmää ei ole mainittu) /21/:

Päällyste	KVL _{raskaat} (1985)	Kantavuusarvo
Kp	300	1000
	300-600	1300
	600	1600
Ös	(ei eritelty)	700
Sr	"	500

Edellä mainitut kantavuusvaatimukset koskevat nykyistä valta- ja kantatieverkkoa tarkistettuna vastaavaa päätieverkkoa. Muille teille ei kantavuusvaatimuksia ole asetettu.

Lähteessä /27/ on esitetty parannetun tien päältä vaadittava kevätkantavuus. Sitomattoman kantavan ja jakavan kerroksen päältä vaadittava kantavuus määräytyy kuormituskertaluvun perusteella seuraavasti:

Mitoitusjakson kuormituskertaluku	Kantavuusvaatimus Kantava kerros	E_2 (kp/cm ²) Jakava kerros
$< 2.8 \times 10^5$	1500	1000
$> 2.8 \times 10^5$	1750	1250

Kuormituskertaluvusta riippuvan päällysteen päältä vaadittavan ja sitomattoman kerroksen päältä vaadittavan kantavuuden erotus saavutetaan sidotuilla kerroksilla.

7. KELIRIKKOTEIDEN KUNNOSSAPITOTARKKAILU JA SEN TULOKSET

7.1 Tutkimusaineiston hankinta

Kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten selvittämiseksi kerättiin liitteessä 1 mainituilta tarkkailuteiltä suoritetietoja 1.4.-31.7.1971 väliseltä ajalta. Tarkkailuteiden kokonaismäärä oli 58 kpl ja teiden jakautuminen eritielajeihin sekä eri tielajien yhteenlaskettu pituus oli seuraava:

soramaantiet	42 kpl	321 km
sorapaikallistiet	4 kpl	26 km
öljysoramaantiet	10 kpl	58 km
bitumiliuossoramaantiet	2 kpl	11 km
yhteensä	58 kpl	416 km

Tarkkailutieosien keskipituus oli n. 7 km. Todettakoon, että painorajoitettujen maanteiden pituus v.1971 oli 4082 km, joten tarkkailuteiden yhteenlaskettu pituus vastasi n. 10 % painorajoitettujen maanteiden pituudesta.

Suoritetietojen kerääminen tarkkailuteiltä suoritettiin tiemestaripiirien toimesta liitteessä 6 esitetyille tarkkailuteiden keräilylomakkeille (tvh 3.078), joihin merkittiin vain sellaiset toimenpiteet, jotka ko. tiemestari katsoi kelirikosta johtuvaksi. Tulokset lähetettiin sellaisenaan tvh:n teknillistaloudelliseen toimistoon jatkokäsittelyä varten.

7.2 Tutkimusaineiston käsittely

7.21 Suoritteiden ja kustannusten määrittäminen

Tutkimustieosilla suoritettut kelirikon aiheuttamat toimenpiteet voitiin jakaa seuraaviin suoriteryhmiin:

- höyläys
- lanaus
- sora (Sr, Ms, Ös, Bls)
- soran kuormaus ja kuljetus
- muu kuljetus
- muu konetyö
- miestyö

Höyläys- ja lanausmääriin (vain soratiet) laskettiin höylän ja lanan käyttö ajoradan tasaamiseen sekä soran ja murskesoran sekoittamiseen.

Kunkin tieosan em. ryhmien yhteenlasketut suoritteet jaettiin tieosan pituudella jolloin saatiin suoritteet tiekilometriä kohti.

Kustannukset laskettiin em. kilometrikohtaisten suoritemäärien perusteella. Kustannuksia määritettäessä tarvittavat yksikköarvot saatiin seuraavista lähteistä: /19/, /30/, /33/.

Kustannustasona pidettiin vuoden 1970 kustannustasoa. Työpalikat laskettiin ilman sosiaalikustannuksia ja ns. yleiskustannuksia ei otettu huomioon. Tiemestariپیiriä kohti yleiskustannukset ovat n. 40 % työkustannuksista, joten työkustannuksista päästään kokonaiskustannuksiin kertoimella 1.4 /32/. Tarkkailutieosien todellisten kunnossapitokustannusten määrittämiseksi pyrittiin alueelliset erot yksikkökustannuksissa ottamaan huomioon.

7.22 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Aineiston käsittelyssä käytettiin lineaarista regressioanalyysiä ja keskiarvojen testausta. Regressioanalyysissä käytetyt muuttujat ja niiden mittaamistapa on jo esitetty kohdan 6.32 taulukossa 11. Höyläys- ja lanausmäärät laskettiin yhteen (muuttuja X14), koska höyläyksen ja lanauksen voi olettaa korvaavan toisiaan jossain määrin. Lanausta oli suoritettu vain 20 soratieosalla ja lanauksen kokonaismäärä oli n. 15 % kaikkien tieosien yhteenlasketusta höyläys- ja lanausmäärästä.

Aineisto jaettiin päällysteen perusteella sorateihin ja kylmäpäällysteteteihin, johon öljysorateiden lisäksi luettiin kaksi bitumiliuossoratietä. Bitumiliuossorateiden kunnossapitokustannusten ei todettu poikkeavan öljysorateiden kunnossapitokustannuksista, joten kaikki kylmäpäällysteet käsiteltiin yhtenä luokkana, jota jatkossa nimitetään öljysorateiden luokaksi. Sorapäällysteisten paikallisteiden (4 kpl) kunnossapitokustannukset olivat soramaanteiden kunnossapitokustannusten luokkaa, joten kaikki soratiet voitiin käsitellä yhtenä luokkana.

Lineaarisella regressioanalyysillä pyrittiin selittämään kunnossapitokustannusten (X12), sorastusmäärien (X13) ja höyläys- ja lanausmäärien (X14) riippuvuutta liikennemäärästä ja kantavuutta ilmaisevista muuttujista. Keskiarvotestausta käytettiin painorajoitusten vaikutuksen selvittämiseksi muuttujien X12, X13 ja X14 arvoihin sorateilla.

7.3 Tutkimusaineiston luotettavuus

Luotettavuudella tarkoitetaan tässä tutkimusaineiston virheittämyyttä. Kunnossapitosuoritetietojen virhelähteistä voidaan mainita seuraavat: kaikkia kelirikon aiheuttamia kunnossapitosuoritemääriä ei ole kirjattu joko tahallisesti tai epätietoisuuden vuoksi, suoritemääriä ei ole määritetty tarkasti kullekin tieosalle. Kustannuksia määritettäessä oli yksikkökustannusten hajonta usein melko suuri. Todellisten tiekohtaisten kunnossapitokustannusten suuruus olisi ehkä saatu tarkemmin selville, jos kustannukset olisi laskettu tiemestaripiirien toimesta. Tähän ei kuitenkaan menty toimenpiteen tiemestaripiireille aiheuttaman lisätyömäärän vuoksi, vaan kustannukset määritettiin keskitetysti yhtenäisten perusteiden mukaan.

Liikennemäärä- ja kantavuustietojen luotettavuutta on käsitelty kohdassa 6.

7.4 Saadut tulokset sekä vertailu muihin tutkimuksiin

7.41 Painorajoitusten vaikutus kunnossapitokustannuksiin

Painorajoitusten vaikutuksen selvittämiseksi kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten suuruuteen määritettiin sekä painorajoitettujen että ei-painorajoitettujen sorateiden luokissa kunnossapitokustannusten keskiarvot ja hajonnat sekä suoritettiin keskiarvojen vertailu t-testin avulla. Seuraavassa on esitetty testauksen kulku:

luokka	keskiarvo (mk/km)	hajonta (mk/km)	tieosia (kpl)
painoraj.	$\bar{x}_1=284.0$	$s_1=206.9$	20
ei-painoraj.	$\bar{x}_2=363.5$	$s_2=214.8$	26

Testataan hajontojen toisistaan poikkeavuus laskemalla F-testisuure:

$$F(25,19) = 1.08$$

Testisuureen arvo on tavallinen F-jakautuman arvo eikä hajontojen ero nouse edes melkein merkitsevyyden rajaan. t-testisuureeksi saadaan:

$$t(44) = 1.264$$

t-testisuureen arvo on tavallinen t-jakautuman arvo, joten luokkien keskiarvoja ei voida pitää eri suurina millään merkitsevyystasolla.

Painorajoitettujen sorateiden kunnossapitokustannuksia ei siten voida pitää ei-painorajoitettujen sorateiden kunnossapitokustannuksia pienempinä tutkitussa aineistossa.

7.42 Liikennemäärän vaikutus kunnossapitokustannuksiin

Kunnossapitokustannusten, X12 ja liikennemäärämuuttujien X3, X4 ja X5 välisiksi korrelaatiokertoimiksi saatiin:

muuttuja	Sr,painoraj.(20kpl)	Sr,eipainoraj(26kpl)	Ös,kaikki (12 kpl)
X3 (HA+PA)	0.10247	0.28132	0.78234 ^{xx}
X4 (KA+LA)	0.26226	0.43023 ^x	0.66294 ^x
X5 (hay)	0.15925	0.36128	0.73574 ^{xx}

Sorateilla vain muuttujan X4 ja selitettävän muuttujan X12 välinen korrelaatiokerroin poikkeaa nollasta melkein merkitsevästi muiden korrelaatiokertoimien nollasta poikkeavuuden ollessa ei-merkitsevä. Muuttujan X4 suurempi korrelaatiokerroin ei-painorajoitetuilla teillä johtuu ilmeisesti siitä, että painorajoitetuilla teillä raskaan liikenteen määrä poikkeaa melkoisesti KVL-arvosta. Siihen viittaa myös muuttujan X5 korrelaatiokertoimien erisuuruus. Muuttujan X3 korrelaatiokertoimen arvo painorajoitetuilla sorateilla saattaa viitata kevyen liikenteen vähenemiseen ko. teillä.

Öljysorateilla liikennemäärämuuttujien X3 ja X5 korrelaatiokertoimien nollasta poikkeavuus on merkitsevää tasoa ja muuttujan X4 melkein merkitsevää tasoa. Parhaiten kunnossapitokustannuksia selittää kevyen liikenteen määrä ja huonoin

selittäjä on raskaan liikenteen määrä, mikä poikennee KVL-arvosta ainakin painorajoitettujen 6 tien osalta.

Seuraavassa on esitetty kunnossapitokustannuksia painorajoitetuilla ja ei-painorajoitetuilla sorateilla parhaiten selittävät mallit sekä kunnossapitokustannusmallit erikseen kaikille sorateille ja öljysorateille, joissa selittäjänä on muuttuja X5 (KVL, hay). Mallien yhteydessä on esitetty korrelaatiokerroin ja estimaatin hajonta.

$$\begin{aligned} \text{Sr, painoraj.} \quad : X_{12} &= 1.806 \cdot X_4 + 201.5, R = 0.2623 & (39) \\ & s = 205.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr, ei-painoraj.} : X_{12} &= 3.740 \cdot X_4 + 216.9, R = 0.4302^x & (40) \\ & s = 197.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr, kaikki} \quad : X_{12} &= 0.3031 \cdot X_5 + 249.2, R = 0.2307 & (41) \\ & s = 230.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ös, kaikki} \quad : X_{12} &= 2.413 \cdot X_5 - 692.4, R = 0.7357^{xx} & (42) \\ & s = 822.0 \end{aligned}$$

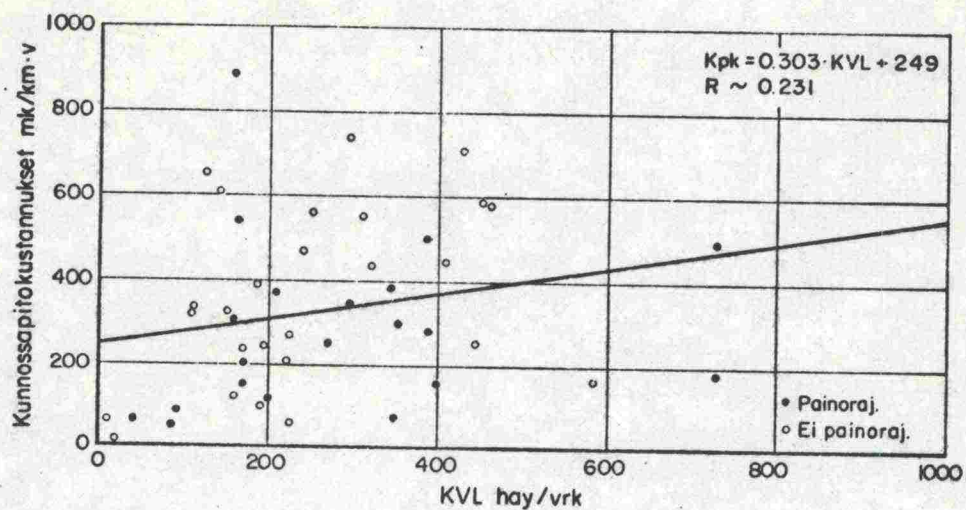
Mallien (41) ja (42) esittämät riippuvuudet on esitetty kuvissa 26 ja 27. Voidaan todeta, että kelirikon aiheuttamat kunnossapitokustannukset ovat yli 600 mk/km vain viidellä soratieosalla (10 % kaikista).

Kunnossapitokustannusten keskiarvoiksi saatiin sorateilla 329 mk/km ja öljysorateilla 1207 mk/km.

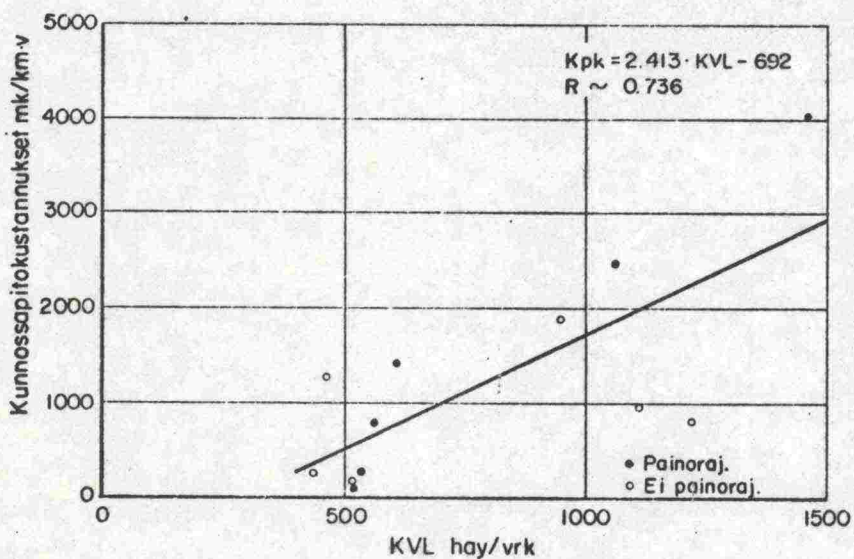
Mitään voimakasta lineaarista riippuvuutta liikennemäärän ja kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten välillä ei voida todeta.

7.43 Kantavuuden vaikutus kunnossapitokustannuksiin

Tutkimustieosien kunnossapitokustannusten, X₁₂, ja kantavuustietojen väliseksi korrelaatiokertoimiksi saatiin:



Kuva 26. Routivuuden aiheuttamien kunnossapitokustannusten (ilman yleiskustannuksia) riippuvuus liikennemäärästä sorateilla.



Kuva 27. Routivuuden aiheuttamien kunnossapitokustannusten (ilman yleiskustannuksia) riippuvuus liikennemäärästä öljysorateilla.

muuttuja Sr,painoraj.(17kpl) Sr,ei-painoraj.(20kpl) Ös,kaikki (12kpl)			
X6	-0.04654	-0.28377	0.18703
X7	-0.01372	-0.26331	0.07353
X8	0.18249	-0.28580	0.27380
X9	0.17384	-0.24221	0.16894
X10	0.35493	-0.16255	0.28982
X11	0.24588	-0.13695	0.20207

Mikään korrelaatiokerroin ei poikkea nolasta merkitsevästi. Suurimmat korrelaatiokertoimet painorajoitettujen sorateiden luokassa ovat kantavuuden muutoksen, X10 ja X11, sekä selitettävän muuttujan, X12, välillä. Ei-painorajoitettujen teiden luokassa suurimmat korrelaatiokertoimet ovat kevät-kantavuuksien X12 välillä. Loogisesti väärä etumerkkejä esiintyy painorajoitettujen teiden luokassa muuttujien X8 ja X9 kohdalla, ei-painorajoitettujen teiden luokassa X10 ja X11 kohdalla ja öljysorateiden luokassa muiden paitsi X10 ja X11 kohdalla

Kantavuustietojen ja kunnossapitokustannusten suuruuteen välillä ei siten voida todeta mitään merkitsevää lineaarista riippuvuutta tutkitussa aineistossa.

7.44 Vertailu muihin tutkimuksiin

Tie- ja vesirakennuslaitoksen kunnossapitomenotilastot ilmoittavat keliarikosta aiheutuvat lisäkustannukset kokonaissummana tv-piireittäin. Litteralle 553, "Heikkojen ja routivien tienkohtien parantaminen", on määrätty kirjattavaksi sellaiset menot, kuten menot toimenpiteistä routivien tienkohtien ennakolta parantamiseksi, kevät- ja syyskelirikkojen aiheuttamat vuotuiset erikoiskustannukset, esim. routivan aineksen poistaminen ja korvaaminen uudella, routakohoumien, roudan sulamisen aiheuttamien puhkeamien sekä kuoppien korjaaminen; toimenpiteet liikenteen ylläpitämiseksi keliarikkoisilla tieosilla; routakuoppien ja kohoumien tasoitus myös talvella.

Tutkimuksessa /32/ todetaan, että litteralle 553 tarkkailutieosilta ilmoitetut kustannukset olivat vain sorateillä merkittävä suuruusluokkaa, 75 mk / km vuodessa ilman yleiskustannuksia (v.1967 hintataso). Tämän todetaan kuitenkin antavan väärän kuvan roudan vaikutuksesta kunnossapitokustannuksiin, sillä suuri osa mm. sorastustarpeesta ja päällysteen vaurioista on roudan aiheuttamia. Päällysteen korjauskustannuksia oli kuitenkin harvoin kirjattu em. litteralle, koska vaurion syy ei useinkaan lie-
ne ollut selvillä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin routimisen aiheuttamia kustannuksia kelirikkoaikana, jolloin osa litteran 553 sisältämistä kunnossapitotoimenpiteistä on jäänyt pois. Tiemestareiden haastattelun mukaan suoritetaan kelirikkoisten sorateiden sorastus yleensä kerran vuodessa heti kelirikkoajan jälkeen tai syksyllä, jolloin soraa (tai murskesoraa) käytetään jopa $40...100\text{ t}/\text{km}$.

Ainakin osaa tästä soramäärästä voidaan pitää routavaurioiden ennakkotorjuntaan käytettynä.

Lähteessä /5 / on em. litteran sisältämiä kunnossapitomenoja tarkasteltu tv-piireittäin ja koko maan osalta vuosina 1960-1967. Vuosina 1965-1967 tie- ja vesirakennuslaitoksen menot heikkojen ja routivien tienkohtien parantamiseen olivat n.5.0...5.5 milj.mrk / v (vuoden 1967 kustannustaso). Eri tie- ja vesirakennuspiirien vastaavien menojen keskiarvot vuosilta 1960-1967 vaihtelivat 133 000 mrk / v (Kainuun tv-piiri)...660 000 mrk / v (Kuopion tv-piiri) välillä (menot muutettu vuoden 1967 kustannustasoon).

Heikkojen ja routivien tienkohtien parantamiseen käytettyjä varoja routivaa maantiekilometriä kohti on tarkasteltu jakamalla eri tv-piirien ko. menot routivien maanteiden määrällä. Tarkastelu on suoritettu vuosien 1960 ja 1961 osalta, jolloin tvl:n hoidossa olevien paikallisteiden määrä oli pieni. Routivien maanteiden määrä on laskettu vähentämällä vuosina 1960-1967 vähintään kerran liikennerajoitettuun olleiden maanteiden määrästä ko. aikana parannettujen maanteiden määrät. Kelirikon aiheuttamien kunnossapitomenojen ko. kahden vuoden keskiarvot (vuoden 1967 hintatasoon muutettuna) vaihtelivat eri tv-piireissä 112 mrk / km

(Lapin tv-piiri)...764 mk / km (Kuopion tv- piiri) välillä lukuunottamatta Uudenmaan tv- piiriä, jossa menot olivat 2018 mk / km (v. 1960 706 mk / km ja v. 1961 3330 mk / km). Koko maan keskiarvoiksi on saatu 171 mk / km vuonna 1960 ja 348 mk / km vuonna 1961. Summiin ei ilmeisesti ole sisällytetty yleiskustannuksia.

Kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten suuruudeksi sorateilla saatiin tässä tutkimuksessa keskimäärin 329 mk/km. Muuntamalla lähteestä /5 / saatujen vuosien 1960 ja 1961 kunnossapitomenojen keskiarvo, 260 mk/km, tienrakennuskustannusindeksin avulla vuoden 1970 hintatasoon (kerroin 1.26), päädytään summaan 328 mk/km.

Taulukossa^{/13} on esitetty yleisten teiden kunnossapitokustannukset päällystetyypeittäin lähteen /32/ mukaan.

Taulukko 13. Yleisten teiden kunnossapitokustannukset (yleiskustannuksineen) päällystetyypeittäin (vuoden 1970 kustannustaso, vuosien 1965-1969 kunnossapitotaso; ei sisällä päällystettyjen teiden uudelleen-päällystämiskustannuksia) /32/.

Liikennemäärä KVL (hay)	Yleisten teiden kunnossapitokustannukset (mk/km .v)				
	Sorapai- kallistie	Soramaantie	Rakentamaton öljysoramaantie	Rakennettu öljysoramaantie	Kestopäälly- stetty maantie
100	1550	2100	1)	1)	1)
200	2050	2650	1)	1)	1)
500	3150	3850	2500	1300	1)
1000	1)	5350	3900	2000	1400
1500	1)	1)	5250	2750	1750
2000	1)	1)	6650	3500	2050

1) ko. liikennemääriä ei juuri esiinny

Lisäämällä kelirikon aiheuttamiin kunnossapitokustannuksiin (kuva 26^{ja 27}) yleiskustannusten osuus voidaan todeta, että soramaanteilla kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten suuruus on keskimäärin 15...20 % taulukossa 13 mainituista soramaanteiden koko vuoden kunnossapitokustannuksista. Öljysoramaanteilla vastaava prosenttiluku vaihtelee välillä 30...75 % verrattuna taulukon 13 rakentamattomien öljysorateiden kunnossapitokustannusarvoihin. Todettakoon, että taulukossa 13 esitetyt öljysorateiden, ja varsinkin rakentamattomien öljysorateiden, kunnossapitokustannukset on saatu hyvin suurta vaihtelua sisältäneistä kustannustiedoista.

Sora- ja öljysorateiden aiheuttamista huomattavan suurista kunnossapitokustannuksista mainittakoon, että v.1967 sorateiden kulutuskerroksen kunnossapitokustannusten osuus oli 36.1 % ja öljysoramaanteiden 9.9 % kaikista kunnossapitoon käytetyistä kustannuksista. Sorateiden ja öljysoramaanteiden kokonaiskunnossapitokustannusten osuudet olivat jopa 72.2 % ja 17.1 % eli yhteensä 89.3 % kaikista kunnossapitokustannuksista /32/.

7.45 Höyläys- ja lanaustarpeeseen vaikuttavista tekijöistä

Tarkasteltaessa höyläys- ja lanausmääriä painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen sorateiden luokissa saatiin seuraavat keskiarvot ja hajonnat:

luokka	keskiarvo (jkm/tiekm)	hajonta (jkm/tiekm)	tieosia (kpl)
painoraj.	$\bar{x}_1=17.85$	$s_1=14.15$	20
ei-painoraj.	$\bar{x}_2=18.70$	$s_2=15.31$	26

Keskiarvot eivät näytä eroavan toisistaan, johon päädytään myös suorittamalla keskiarvojen testaus t-testillä. Höyläystä ja lanausta suoritetaan keskimäärin yhtä paljon sekä painorajoitetuilla että ei-painorajoitetuilla sorateilla.

Höyläys- ja lanausmäärien, X14, ja liikennemäärämuuttujien X3, X4 ja X5 välisiksi korrelaatiokertoimiksi sorateilla saatiin:

muuttuja	Sr, painoraj.(20kpl)	Sr,ei-painoraj.(26kpl)
X3 (HA+PA)	-0.01785	0.51960 ^{xx}
X4 (KA+LA)	0.11803	0.56941 ^{xx}
X4 (hay)	0.01462	0.58903 ^{xx}

Ei-painorajoitetuilla sorateilla kaikkien liikennemäärämuuttujien ja selitettävän muuttujan, X14, väliset korrelaatiokertoimet poikkeavat nollasta merkitsevästi; painorajoitetuilla sorateilla korrelaatiokertoimien nollasta poikkeavuus ei ole merkitsevä. Muuttujan X3 korrelaatiokerrointen suuri ero eri luokissa viittaa siihen, että ei-painorajoitetuilla sorateilla höyläys- ja lanausmäärät pyritään tai joudutaan sovittamaan paremmin liikennemäärien mukaan kuin painorajoituksen alaisilla sorateilla. Kevyen liikenteen, X3, suuri korrelaatiokerroin

ei-painorajoitettujen sorateiden luokassa johtunee siitä, että kevyen liikenteen päällystettä rikkova vaikutus tulee voimakkaana esille vasta senjälkeen, kun raskas liikenne on saattanut päällysteen rikkoutumisen alkun.

Parhaiten muuttujaa X14 selittävät sorateilla eri luokissa seuraavat mallit:

$$\text{Sr, painoraj.} : X14 = 0.05560 \cdot X4 + 15.31, R = 0.1180 \quad (43)$$

$$s = 14.44$$

$$\text{Sr, ei-painoraj.} : X14 = 0.06360 \cdot X5 + 3.028, R = 0.5890^{XX} \quad (44)$$

$$s = 12.63$$

$$\text{Sr, kaikki} : X14 = 0.1908 \cdot X4 + 10.31, R = 0.3519^X \quad (45)$$

$$s = 13.88$$

Höyläys- ja lanausmäärien, X14, ja tien kantavuustietoja ilmaisevien muuttujien välisiksi korrelaatiokertoimiksi saatiin:

muuttuja	Sr,painoraj.(17kpl)	Sr,ei-painoraj.(20kpl)
X6	-0.18580	-0.13492
X7	-0.14283	-0.10832
X8	0.06344	-0.11107
X9	0.00616	-0.05253
X10	0.32198	-0.03738
X11	0.13161	0.00987

Mikään selitettävän muuttujan ja selittävien muuttujien välisistä korrelaatiokertoimista ei poikkea nollasta merkitsevästi. Positiivinen korrelaatiokerroin on looginen vain muuttujien X10 ja X11 kohdalla.

Kevätkantavuuden, kesäkantavuuden ja kantavuuden aleneman ja toisaalta höyläys- ja lanausmäärän välillä ei voida todeta oleellista lineaarista riippumatta.

Malli, jossa on selittäjänä parhaan korrelaatiokertoimen antama muuttuja, X10, on seuraava

$$\text{Sr, painoraj.} : X14 = 0.01735 \cdot X10 + 12.47, R = 0.3220 \quad (46)$$

$$s = 14.92$$

Höyläys- ja lanausmäärien sekä sorastusmäärien, X13, välille saatiin seuraavat korrelaatiokertoimet:

muuttuja	Sr,painoraj. (20kpl)	Sr,ei-painoraj. (26kpl)	Sr,kaikki (46kpl)
X13	0.66144 ^{xx}	0.50576 ^{xx}	0.47144 ^{xxx}

Muuttujien X14 ja X13 väliset korrelaatiokertoimet poikkeavat nollasta merkitsevästi. Riippuvuus selittyy siitä, että höyläys- ja lanausmääriin laskettiin mukaan myös koneiden käyttö soran levittämiseen.

Höyläys- ja lanausmäärien sekä käytetyn soramäärän väliseksi riippuvuudeksi saatiin:

$$\text{Sr,kaikki} \quad X14 = 0.3926 \cdot X13 + 10.28, \quad R = 0.4714^{xxx} \quad (47) \\ s = 13.08$$

Tutkimuksessa "Yleisten teiden kunnossapitokustannukset" /32/ todettiin, että kesäkunnossapidon osalta lanausmäärien riippuvuus liikennemäärästä oli tutkimusteillä hyvin satunnaista kun taas höyläysmäärien ja liikennemäärän välinen riippuvuus oli varsin selvä. Tämä johtuu siitä, että soratiet hoidetaan nykyään yhä enenevässä määrin höyläämällä. Höyläysmäärät maanteilla vaihtelivat keskimäärin välillä 30-65 jkm/tiekm·v KVL:n kasvaessa 100-500 hay/vrk. Lanausmäärät olivat maanteilla keskimäärin 35 jkm/tiekm·v liikennemäärän ollessa alle 500 hay/vrk. Em.höyläys- ja lanausmääriin ei ole otettu mukaan höylän ja lanan käyttöä materiaalin sekoittamiseen.

Kelirikon aiheuttamien höyläysmäärien (n.85% yhdistetystä höyläys- ja lanausmäärästä) voidaan todeta olevan n. kolmasosan maanteiden kesäaikaisesta höyläyksestä.

7.46 Sorastustarpeeseen vaikuttavista tekijöistä

Tarkasteltaessa käytettyjä soramääriä ($i\text{-m}^3/\text{km}$) painorajoitettujen ja ei-painorajoitettujen sorateiden luokissa saatiin seuraavat keskiarvot ja hajonnat:

luokka	keskiarvo ($i\text{-m}^3/\text{km}$)	hajonta ($i\text{-m}^3/\text{km}$)	tieosia (kpl)
painoraj.	$\bar{x}_1 = 11.4$	$s_1 = 8.6$	20
ei-painoraj.	$\bar{x}_2 = 27.5$	$s_2 = 19.6$	26

Keskiarvojen eron testaamiseksi todetaan aluksi hajontojen eroavuus toisistaan . F-testisuureksi ja tehdyn oletuksen $s_1=s_2$ arvostelemiseksi saadaan:

$$F(25.19)=5.22$$

joka ei ole F-jakautuman tavallinen arvo, joten hajontoja voidaan pitää erisuurina vähintään merkitsevällä tasolla. t-testisuureen vapausasteet määritetään kohdan 6.32 mukaisesti.

t-testisuureksi saadaan:

$$t(36)=3.746$$

t-testisuureen arvo ei ole tavallinen t-jakautuman arvo ja keskiarvojen voidaan katsoa poikkeavan toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi.

Kelirikon vuoksi tien korjaamiseen käytettyjen soramäärien (tai öljysoramäärien), X13, ja liikennemäärämuuttujien X3, X4 ja X5 välisiksi korrelaatiokertoimiksi saatiin:

muuttuja	Sr,painoraj. (20kpl)	Sr,ei-painoraj. (26kpl)	Ös,kaikki (12kpl)
X3 (HA+PA)	0.011389	0.09786	0.76600 ^{xx}
X4 (KA+LA)	0.18245	0.15015	0.60472 ^x
X5 (hay)	0.05770	0.12074	0.69629 ^x

Korrelaatiokerrointen poikkeavuus nolasta ei sorateiden kohdalla ole merkitsevä; öljysorateilla muuttujan X3 korrelaatiokerroin poikkeaa nolasta merkitsevästi ja X4:n ja X5:n korrelaatiokertoimet poikkeavat nolasta melkein merkitsevästi. Syy siihen, että muuttuja X3 selittää öljysoramääriä muuttujaa X4 paremmin, lienee raskaan liikenteen määrän poikkeavuus KVL-arvoista, mihin viittaavat muuttujan X4 suurimmat korrelaatiokertoimet sorateilla.

Liikennemäärän ei tämän aineiston perusteella voida katsoa vaikuttavan päällysteen kunnossapitoon käytettävään soramäärään sorateilla. Öljysorateilla parhaan selittävyys X13:lle antaa seuraava malli:

$$\begin{aligned} \text{Ös, kaikki: } X13 &= 0.1619 \cdot X3 - 45.46, & R &= 0.76600^{xx} \\ & & s &= 33.77 \end{aligned} \quad (48)$$

Kantavuutta ilmaisevien muuttujien ja käytettyjen sora- tai öljysoramäärien väliseksi korrelaatiokertoimiksi saatiin:

muuttuja	Sr, painoraj (20kpl)	Sr-, ei-painoraj. (26kpl)	Ös, kaikki (12kpl)
X6	-0.01793	-0.00379	0.28213
X7	-0.02165	0.03011	0.18415
X8	0.32083	-0.03541	0.38078
X9	0.32696	-0.06170	0.29237
X10	0.54919 ^x	-0.05299	0.38138
X11	0.45888	-0.11001	0.30046

Vain X10 korrelaatiokerroin poikkeaa nolasta melkein merkitsevästi painorajoitettujen sorateiden luokassa. Positiivinen korrelaatio on vain muuttujien X10 ja X11 kohdalla looginen.

Soramäärien ja kantavuuden tai kantavuuden muutoksen välillä ei voida todeta oleellista lineaarista riippuvuutta. Parhaiten muuttujaa X13 selittävä malli on painorajoitettujen sorateiden luokassa seuraava:

$$\text{Sr, painoraj.: } X13 = 0.01748 \cdot X10 + 4.438, \quad R = 0.5492^x \quad (49) \\ s = 7.778$$

Tutkimuksessa /32/ ei kesäkunnossapitoon käytettyjen soramäärien ja liikennemäärän, säätelijöiden tai muiden käytettyjen selittävien muuttujien välille voitu löytää mitään riippuvuutta. Hyvin suurta vaihtelua sisältävistä suoritemääristä saatiin keskimääräisiksi murskesoran ja soran käyttömääräksi soraanteilla 54 i-m³/km·v (sora 12, murskesora 42 i-m³/km·v) ja sorapaikallisteilla 43 i-m³/km·v (sora 14, murskesora 29 i-m³/km·v). Koska soran ja murskesoran käytöstä aiheutuneet kustannukset olivat varsin suuret (maanteilla 350 mk / km·v ja paikallisteilla 265 mk / km·v, v.1967 hintataso), todettiin, että sorastuksessa olisi siirryttävä käyttämään liikennemäärästä riippuvia ohjearvoja. Ruotsissa on käytössä seuraavat ohjearvot (7kk sulan maan aikana):

KVL (hay)	sorastus (i-m ³ /km·v)
50	12
100	18
200	28
400	38
1000	57

8. PARANTAMISKUSTANNUKSET

Teiden parantamiskustannuksia, jolla parantamistöiden yhteydessä tarkoitetaan samaa kuin rakentamiskustannuksilla rakentamistöiden yhteydessä, on tutkittu v. 1970 valmistuneessa diplomityössä "Teiden parantamiskustannusten arvioimisesta tieverkko- ja yleissuunnitteluvaiheessa" /25 /. Em. tutkimus edustaa uusinta tietoa teiden parantamiskustannusten suuruudesta ja niiden riippuvuudesta eri tekijöistä, joten seuraavassa tyydyttään esittämään vain eräitä ko. tutkimuksen tuloksia.

Tutkimuksessa /25 / on tarkasteltu tien kilometrikustannusten riippuvuutta eri tekijöistä. Kilometrikustannuksiin ei ole laskettu mukaan siltatyö- eikä lunastuskustannuksia ja kustannustasona on pidetty vuoden 1969 kustannustasoa.

Keskimääräiseksi kilometrikustannukseksi parannettaessa sora- tai öljysorapäällysteinen tie kylmäpäällysteiseksi tieksi tehostettuna kunnossapitona on saatu 47400 mk/km (38 kohdetta). Tienrakennustoimialan suorittamien viiden toimenpiteiltään hieman laajempien parannuskohteiden kilometrikustannukset olivat jonkin verran suuremmat vaihdellen välillä 60000mk/km ...177000 mk/km. Parantamiskustannuksille ei ole saatu eroja jakamalla kohteet alkuperäisen päällysteen mukaan sora- ja öljysorateihin.

Parannettaessa sora- tai kylmäpäällysteinen tie kestopäällysteiseksi on kilometrikustannukseksi saatu keskimäärin 150000mk/km (44 kohdetta).

Tehostetun kunnossapidon suurimpana sallittuna arvona on ollut koko maassa 75 000...80 000 mk/km (tietyin varauksin), jonka on todettu saattaneen vaikuttaa aineiston luotettavuuteen /25/.

Taulukossa 14 on esitetty rakentamis- ja parantamiskustannusten keskimääräisiä arvoja lähteen /18/ mukaan.

Taulukko 14 . Rakentamis- ja parantamiskustannukset /18/.

		Rakentamis- ja parantamiskustannukset (1000 mk/km)						
Pohjana oleva tietyyppi		Rakennettava tietyyppi						
		5.5 Sr	5.5 Ös	7/6 Sr	7/6 Ös	7/6 Kp	8/7 Kp	10/7 Kp
-	-	220	260	250	310	370	450	570
5.5	Sr	-	65	-	120	200	310	470
5.5	Ös	-	-	-	68	150	250	420
7/6	Sr	-	-	-	81	160	270	430
7/6	Ös	-	-	-	-	81	180	350

Kelirikkoteiden parantamiskustannuksia arvioitaessa em. keskimääräiset kilometrikustannukset saattavat olla liian pieniä, mutta antavat kuitenkin kuvan parantamiskustannusten suuruusluokasta.

9. TUTKIMUSTULOSTEN KÄYTTÖ INVESTOINTILASKELMISSA

9.1 Tien rakenteen parantamisvaihtoehtojen taloudellinen tarkastelu

Tien parantamistoimenpiteiden valintamenettely jakaantuu seuraaviin pääkohtiin /27/:

- lähtötiedot
- tavoitteet ja vaatimukset
- tien rakennetta ja geometriaa koskevat parantamisvaihtoehdot
- parantamisvaihtoehtojen taloudellinen tarkastelu
- lopulliset parantamisvaihtoehdot
- yhdistelmävaihtoehtojen taloudellinen tarkastelu
- parantamistoimenpiteiden valinta

Tien rakennetta ja geometriaa koskevien parantamisvaihtoehtojen taloudellinen tarkastelu suoritetaan: 1) kannattavuuden määrittämiseksi, kun toimenpide oletetaan toteutettavan tietynä ajankohtana ja 2) kannattavan toteuttamisajankohdan määrittämiseksi, mikäli hanke ei osoittaudu kannattavaksi kohdassa 1). Investointimenetelmänä suositellaan käytettäväksi sisäisen koron menetelmän ohella myös pääoma- eli nykyarvomenetelmää /27/.

Seuraavassa sovelletaan nykyarvomenetelmää laskettaessa tien rakenteen parantamisesta aiheutuvia säästöjä. Nykyarvomenetelmässä lasketaan ajo- ja kunnossapitokustannussäästöjen diskontattu arvo laskenta-ajanjakson alussa käyttäen korkona 7.5 %:a /9 /. Laskenta-ajanjaksolta diskontatut arvot lasketaan yhteen ja näin saadusta summasta vähennetään investointikustannus, jolloin tuloksena on investoinnin pääoma- eli nykyarvo. Investointi on kannattava, jos nykyarvo on >0 mk. Investoinnin mahdollinen jäännösarvo otetaan huomioon kannattavuutta määritettäessä siten, että jäännösarvon nykyarvo vähennetään parantamisinvestoinnista.

Routavaurioiden poistamiseen ja kantavuuden parantamiseen investoidun pääoman nykyarvo saadaan seuraavasta kaavasta /27/:

$$N = (S_{AK} + S_{KpK}) - (K_p + K_v/z)$$

jossa, N on investoinnin nykyarvo

S_{AK} on parantamisesta päällysteen kestoajalta aiheutuvien ajokustannussäästöjen nykyarvo

S_{KpK} on parantamisesta päällysteen kestoajalta aiheutuvien kunnossapitokustannusten nykyarvo

K_p on päällysteen parantamiskustannukset

K_v on vahvistamiskustannukset (routavaurioiden poistamisesta ja kantavuuden parantamisesta)

$1/z$ on tekijä, joka osoittaa, kuinka suuri osa vahvistamiskustannuksista kuoletaan päällysteen kestoaikana

Jos kannattavia vaihtoehtoja on useita ja samalla vallitsee rahoitusrajoituksia, on se vaihtoehto kannattavin, jolla investoinnin nykyarvon suhde parantamiskustannuksiin on suurin.

9.2 Kelirikkoisten teiden rakenteen parantamisesta aiheutuvien ajokustannus- ja kunnossapitokustannussäästöjen määrittäminen

9.21 Tehdyt alkuoletukset

Seuraavassa on esitetty eräs mahdollisuus tässä tutkimuksessa saatujen tulosten käyttämiseksi investointilaskelmissa. Ajokustannussäästöjen suuruus riippuu oleellisesti liikennemäärän suuruudesta, liikenteen kasvusta ja ajoneuvokoostumuksesta. Seuraavassa on em. suureista tehty eräitä oletuksia, jotka vaikuttavat saatuihin lopputuloksiin. Tulosten voitaneen siten katsoa kuvaavan eräänlaista keskimääräistä tilannetta keli-rikkoteillä. Tiekohtaisia investointilaskelmia suoritettaessa on paikalliset olosuhteet mahdollisuuksien mukaan otettava huomioon.

Lähtökohdaksi on otettu vuoden 1970 liikennemäärä, jolloin ajoneuvokoostumukseksi on oletettu 80/20 (kevyet autot/raskaat

autot). Liikenteen kasvu on määritetty vuoden 1970 yleisen liikennelaskennan perusteella muille maanteille määritettyjen alustavien kasvukertoimien avulla; 15-vuotiskaudella 1970-1985 kevyelle liikenteelle kasvukertoimena on käytetty kerrointa 2.02 ja raskaalle liikenteelle kerrointa 1.10. Liikenteen kasvu on oletettu lineaariseksi vuodesta 1970 alkaen.

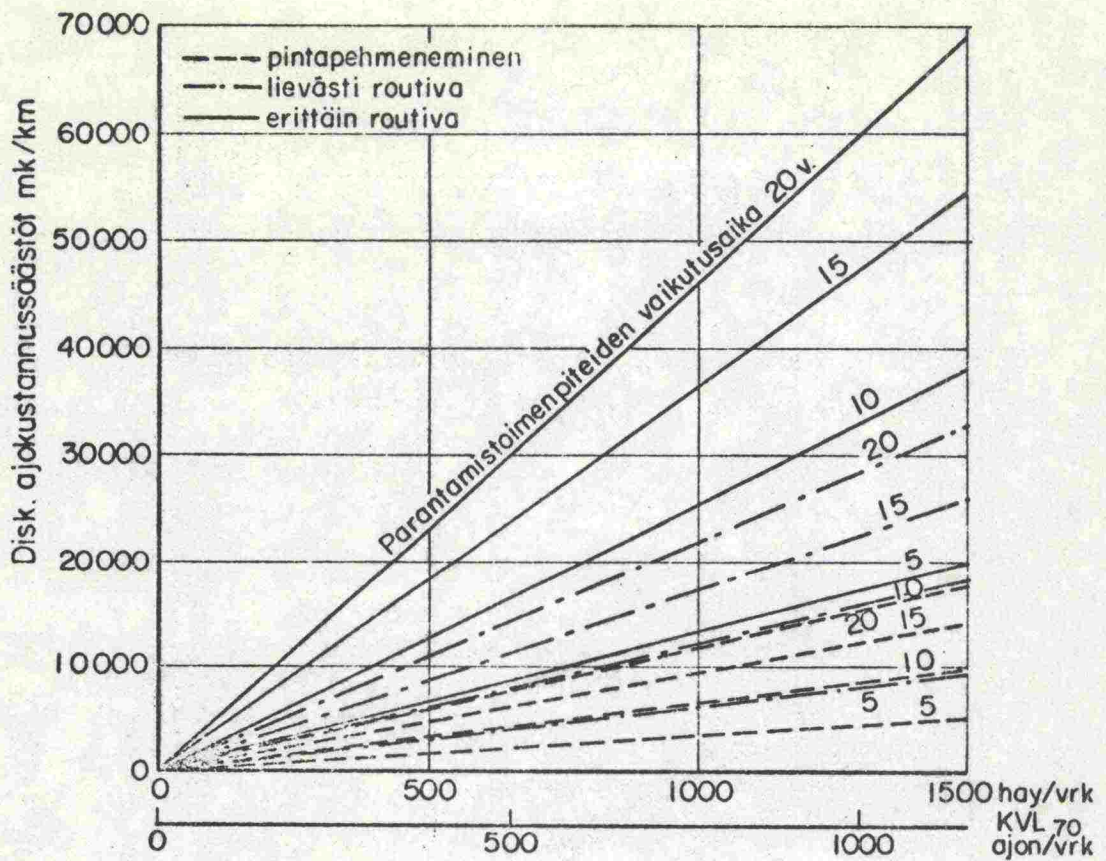
Ajokustannusten yksikköarvoina eri laskenta-ajankohtina on käytetty lähteestä / 1 / saatavia ajokustannusarvoja. Laskelmissa ei onnettomuuskustannuksia ole otettu mukaan yksikköarvoihin ja kevyen ja raskaan liikenteen ajokustannuksia on käsitelty erillisinä.

Tien poikkileikkaukseksi on valittu 7/6, mäkisyydeksi 20 m/km ja kaarteisuudeksi 50 grad/km. Liikennemäärän on oletettu olevan niin pienen, ettei se vaikuta liikenteen nopeuteen. Näiden tiestä ja sen liikenteestä tehtyjen alkuoletusten voidaan katsoa usein vastaavan alkutilannetta kelirikkoteitä parannettaessa.

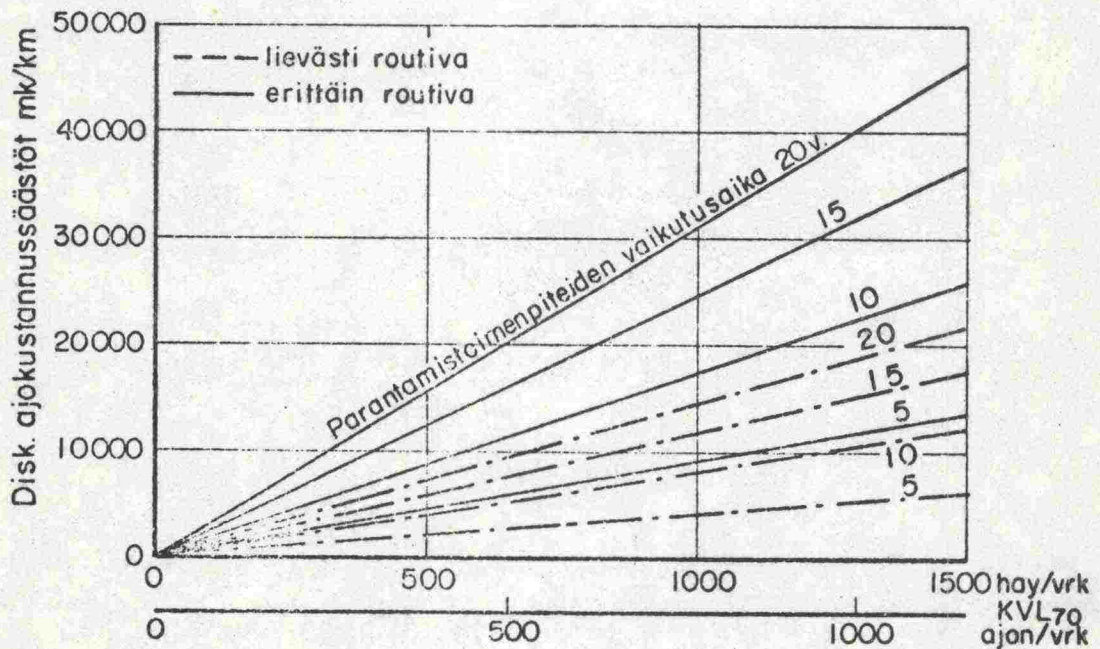
9.22 Routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt

Parannettaessa tie routimattomaksi aiheutuu ajokustannussäästöjä ainakin kelirikkoaajalta. Joillakin sorateilla ajoittain esiintyvä syyskelirikko on kevätkelirikkoa huomattavasti lievempi ja lyhytaikaisempi. Seuraavissa laskelmissa on ajokustannussäästöt laskettu vain kelirikkoaajalta (3 kk) ja jätetty syksyllä ja talvella mahdollisesti esiintyvien routavaurioiden liikenteen ajokustannuksia lisäävä vaikutus huomioon ottamatta.

Kuvissa 28 ja 29 on esitetty routivuuden poistamisesta aiheutuvat diskontatut ajokustannussäästöt liikennemäärän ja parantamistoimenpiteiden vaikutusajan funktiona. Ajokustannuslisiä laskettaessa on käytetty taulukon 9 arvoja. Liikennemääränä on käytetty KVL-arvoa, sillä kausivaihtelukäyrien mukaan liikennemäärät kelirikkoaikana ovat likimain KVL:n suuruisia. Raskaan ajoneuvoliikenteen ajokustannuslisät (ei liikennerajoitusta) on laskettu käyttäen samoja taulukon 9 arvoja,



Kuva 28. Diskontatut routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt, soratie 7/6.



Kuva 29. Diskontatut routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt, öljysoratie 7/6

sillä tarkempaa tietoa kelirikon raskaalle liikenteelle aiheuttamista ajokustannuslisistä ei ole saatavissa.

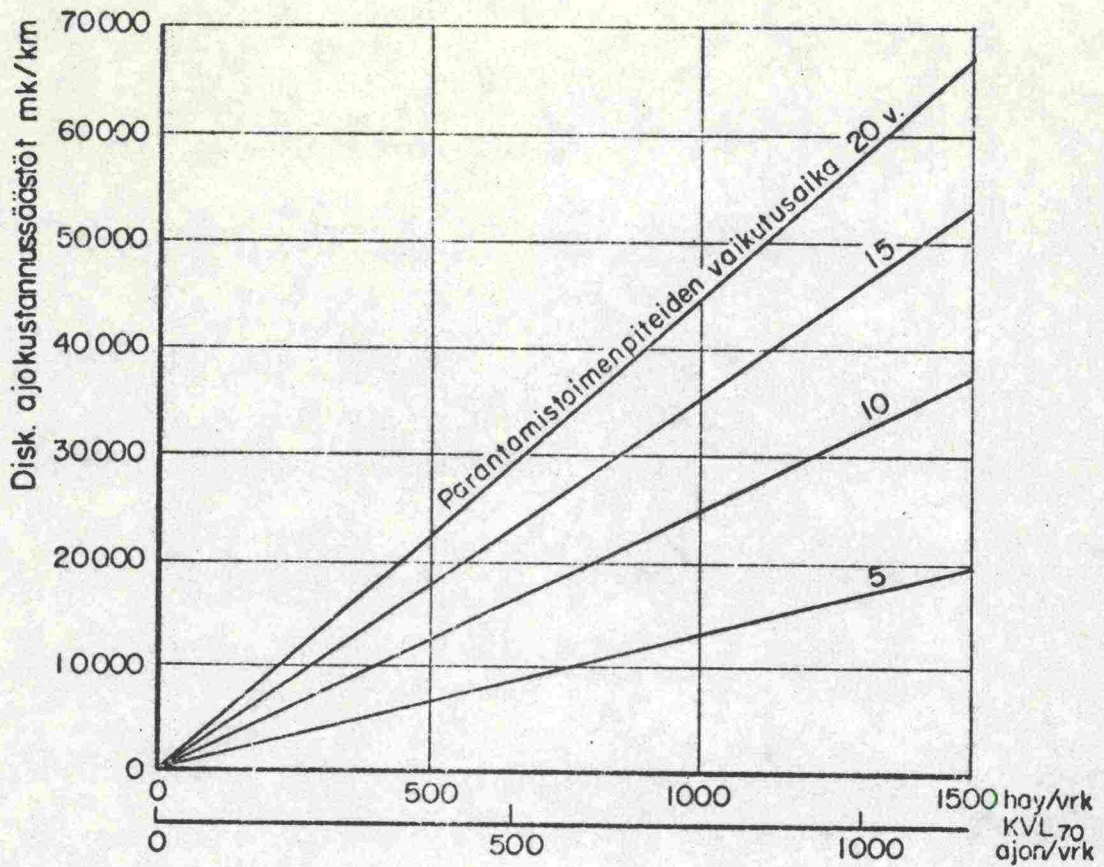
Investointiajanjaksolta kertyneet ajokustannussäästöt on tämän jälkeen diskontattu 7.5 %:n mukaan laskenta-ajankohtaan vuoteen 1970.

9.23 Päällysteen parantamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt

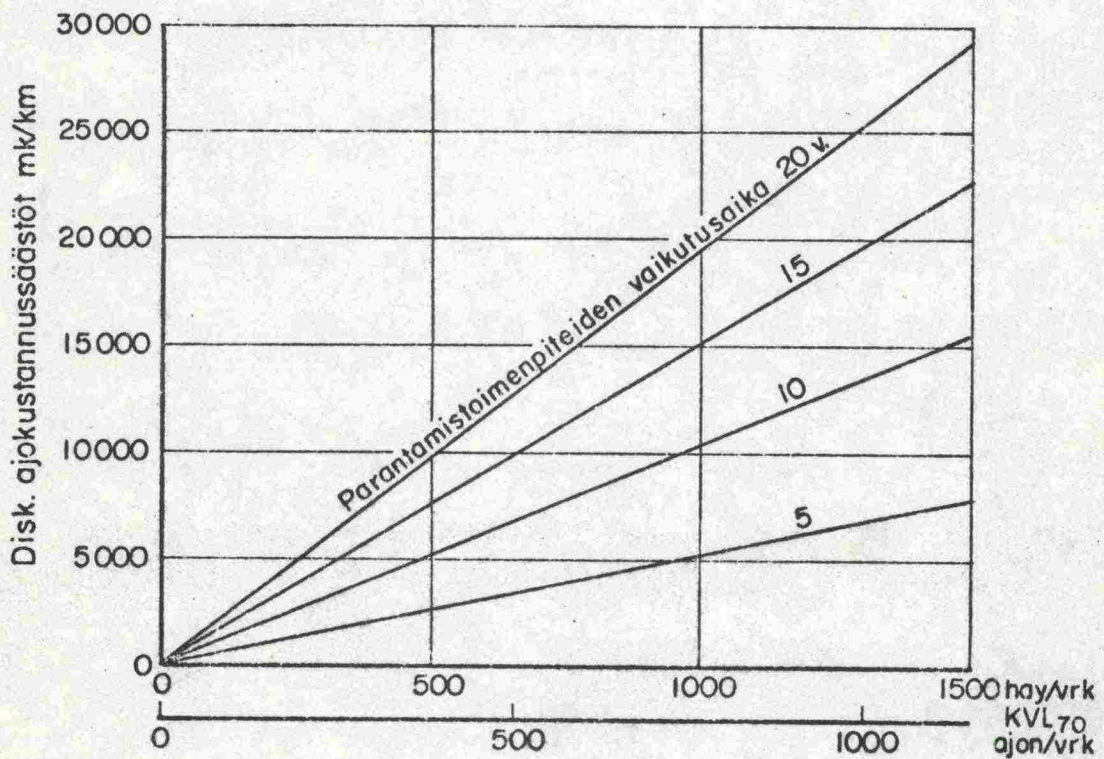
Kelirikkoisten teiden päällysteen kunto jää usein routimattomien teiden päällysteen kuntoa heikommaksi kelirikkoajan jälkeen. Heikentynyt päällysteen kunto suurentaa ajokustannuksia ja päällysteen parantaminen hyväkuntoiseksi aiheuttaa siten ajokustannussäästöjä.

Kuvassa 30 on esitetty soratien päällysteen parantamisesta aiheutuvat diskontatut (7.5 %) ajokustannussäästöt liikennemäärän ja parantamistoimenpiteiden vaikutusajan funktiona. Ajokustannussäästöjä laskettaessa on oletettu, että lisääntyneitä ajokustannuksia esiintyy vain tien pinnan ollessa paljaana. Osan talvesta tiet, ja varsinkin vähäliikenteiset tiet, ovat lumen ja jään peitossa niin, että ajokustannukset eivät tänä aikana riipu päällysteestä. Tämän ajan pituudeksi on oletettu 3 kk, joten ajokustannussäästöt on laskettu 9 kk:n ajalta käyttäen liikennemääränä KVL-arvoja. Ajokustannuksiin tuleva lisä on laskettu käyttämällä kohdan 5.433 kaavan (14) mukaan laskettua prosenttista lisää päällysteen pisteluvun ollessa 2.0 (päällysteen kunto välttävän ja tyydyttävän välillä). Ajokustannuslisä on tällöin 5.5 % ja samaa arvoa on käytetty myös raskaan liikenteen ajokustannuslisiä määritettäessä. Säästöjä laskettaessa on oletettu, että parannettu päällyste pidetään hyvässä kunnossa koko investointiajanjakson, jolloin ajokustannuslisiä ei esiinny.

Kuvasta 30 voidaan todeta, että soratien päällysteen parantamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt ovat likimain yhtä suuret kuin routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt erittäin routivien sorateiden kohdalla. Tämä johtuu siitä, että routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt on laskettu vuosittain 3 kk:n ajalta ja soratien päällysteen parantamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt 9 kk:n ajalta.



Kuva 30. Diskontatut soratien päällysteen parantamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt



Kuva 31. Diskontatut soratien päällystämisestä (Kp, Bls tai O's) aiheutuvat ajokustannussäästöt

Koska routivien öljysorateiden päällysteen kunto jää usein varsin heikoksi kelirikkoajan jälkeen, voitaneen päällysteen parantamisesta aiheutuvien ajokustannussäästöjen suuruutta arvioida kuvan 30 avulla.

9.24 Soratien päällystämisestä aiheutuvat ajokustannussäästöt

Kelirikkoisten sorateiden parantamisessa tulee tien kantavuuden parantamisen lisäksi usein kyseeseen tien päällystäminen öljysora-, bitumiliuossora- tai kestopäällysteellä.

Lähteen /1 / mukaan ajokustannukset sorapäällysteisillä teillä ovat suuremmat kuin päällystetyillä (Kp, Bls, Ös), geometrisilta ominaisuuksiltaan samanlaisilla teillä. Polttoaineenkulutusten väliset erot ajettaessa eri tyyppisillä päällysteillä on todettu hyvin pieniksi, eikä niitä ole otettu huomioon ajokustannusarvoja määritettäessä. Ajonopeudet ovat kuitenkin sorapäällysteisillä teillä pienempiä kuin päällystetyillä, geometrisilta ominaisuuksiltaan samanlaisilla teillä. Nopeuden muuttuessa muuttuu myös polttoaineenkulutus ja sen mukana ajoneuvokustannukset (kohta 4.31); aikakustannukset kasvavat aina nopeuden pienetessä (kohta 4.32).

Kuvassa 31 on esitetty soratien päällystämisestä aiheutuvat diskontatut (7.5 %) ajokustannussäästöt liikennemäärän ja parantamistoimenpiteiden vaikutusajan funktiona. Ajokustannusten välinen ero soratien ja päällystetyn tien välillä on otettu lähteestä /1 / ja ko. eron suuruus vaihtelee laskenta-ajankohdasta riippuen välillä n. 0.5...1.0 p/ajon.km sekä kevyen että raskaan ajoneuvon ollessa kyseessä. Säästöjä on laskettu aiheutuvan 9 kk:n ajalta kohdassa 9.23 mainitusta syystä.

Soratien päällystämisestä aiheutuvien ajokustannussäästöjen voidaan todeta olevan alle puolet soratien päällysteen korjaamisesta aiheutuvista ajokustannussäästöistä.

9.25 Routivuuden poistamisesta aiheutuvat kunnossapitokustannussäästöt

Parannettaessa tie routimattomaksi kunnossapitokustannukset pienenevät routavaurioiden ennakotorjuntaan ja korjaamiseen

kohdistuvien kustannuksien jäädessä pois. Routivuuden aiheuttamien kunnossapitokustannusten suuruutta kelirikkoaikana on käsitelty kohdassa 7.4.

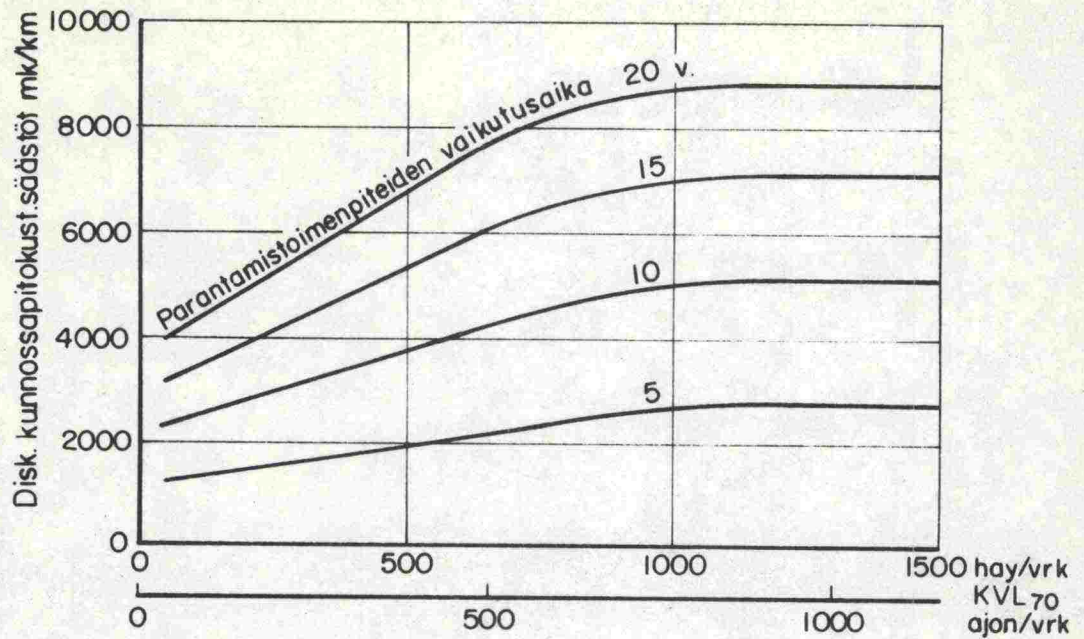
Kuvissa 32 ja 33 on esitetty routivuuden poistamisesta aiheutuvat diskontatut (7.5 %) kunnossapitokustannussäästöt liikennemäärän ja parantamistoimenpiteiden kestoajan funktiona. Routivuuden aiheuttamat kunnossapitokustannukset (kelirikkoaikana, ilman yleiskustannuksia) liikennemäärän funktiona on esitetty kuvissa 26 ja 27. Säästöjä laskettaessa on kelirikon aiheuttamien kunnossapitokustannusten suuruudeksi oletettu sorateilla 600 mk/km liikennemäärän ylittäessä 1200 hay/vrk ja öljysorateilla 3000 mk/km liikennemäärän ylittäessä 1500 hay/vrk. Kustannustason nousuksi on oletettu 4 % vuodessa /32/.

Verrattaessa routivuuden poistamisesta aiheutuvia kunnossapitokustannus- ja ajokustannussäästöjä keskenään voidaan todeta, että ajokustannussäästöt ovat kunnossapitokustannussäästöjä suurempia sekä lievästi routivien että erittäin routivien sorateiden tapauksissa. Öljysorateilla kunnossapitokustannussäästöt ja ajokustannussäästöt erittäin routivilla öljysorateilla ovat lähes yhtä suuret.

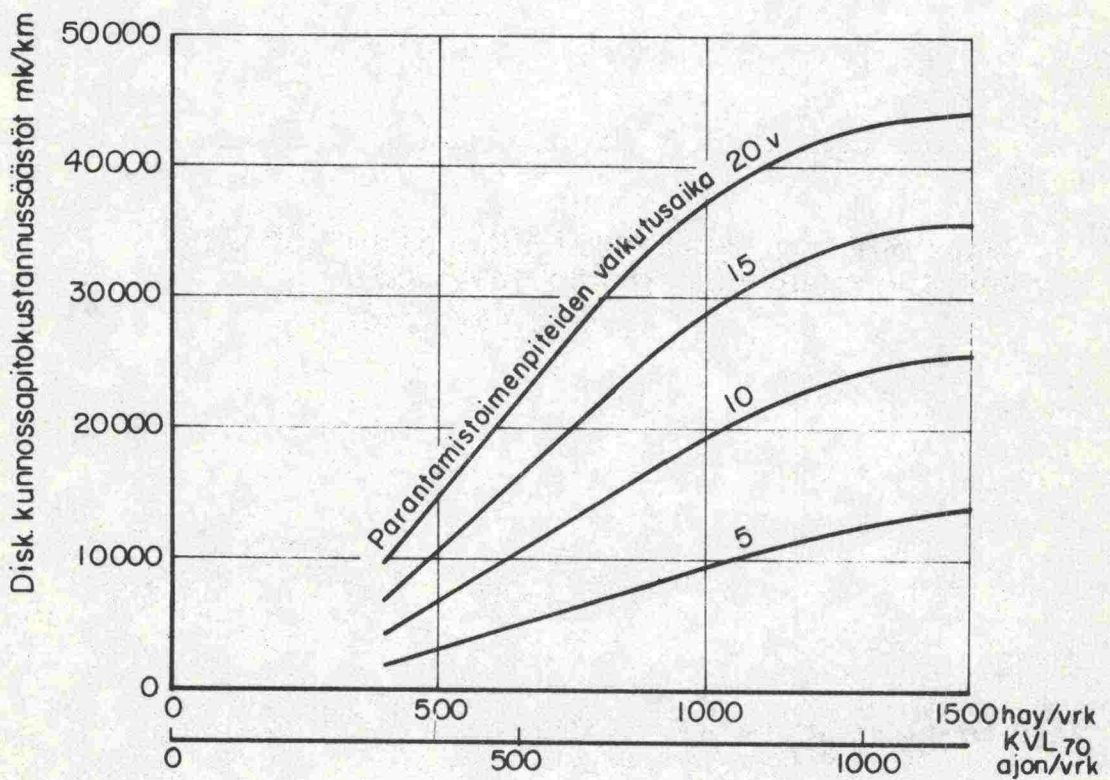
9.26 Ajokustannus- ja kunnossapitokustannussäästöjen yhdistäminen

Laskemalla edellä kohdissa 6.22-6.25 määritetyt diskontatut ajokustannus- ja kunnossapitokustannussäästöt yhteen ottaen huomioon lähtötilanteen liikennemäärä, parantamistoimenpiteiden vaikutusaika, tien päällyste, päällysteen kunto ja tien kelirikkoaste, saadaan routivuuden poistamisesta ja päällysteen parantamisesta aiheutuvien säästöjen nykyarvo. Vertaamalla tätä tarvittavaan investointiin voidaan tien rakenteen parantamisvaihtoehtojen kannattavuus saada selville.

Kohdissa 6.22-6.25 tehtyjen oletusten ollessa voimassa saadaan erittäin routivan soratien routivuuden poistamisen ja päällystämisen aiheuttamien ajo- ja kunnossapitokustannussäästöjen nykyarvoksi n. 31 000 mk/km, kun lähtötilanteen liikennemääräksi (KVL) oletetaan 500 hay/vrk ja parantamistoimenpiteiden vaikutusajaksi 10 vuotta. Soratien päällysteen on oletettu



Kuva 32. Diskontatut routivuuden poistamisesta aiheutuvat kunnossapitokustannussäästöt sorateilla.



Kuva 33. Diskontatut routivuuden poistamisesta aiheutuvat kunnossapitokustannussäästöt öljysorateilla.

olevan heikkokuntoinen kelirikkoaajan jälkeenkin, joten routivuuden poistamisen ja soratien päällystämisen aiheuttamien ajokustannussäästöjen lisäksi on heikkokuntoisen päällysteen parantumisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt laskettu mukaan. Erittäin routivan öljysoratien routivuuden poistamisesta aiheutuvien ajo- ja kunnossapitokustannussäästöjen nykyarvoksi saadaan vastaavasti n. 16 000 mk/km lähtötilanteen liikennemäärän (KVL) ollessa 500 hay/vrk ja n. 36 000 mk/km liikennemäärän ollessa 1 000 hay/vrk. Ajokustannussäästöihin on tällöin laskettu vain routivuuden poistamisesta aiheutuvat ajokustannussäästöt (kuva 29) ja parantamistoimenpiteiden vaikutusajaksi on oletettu 10 vuotta.

Verrattaessa edellä saatuja ajo- ja kunnossapitokustannussäästöjen nykyarvoja luvussa 8 esitettyihin parantamiskustannuksiin voidaan todeta, että em. tavalla määritettyjen säästöjen nykyarvot jäävät tehostettuna kunnossapitona suoritettujenkin parantamistöiden keskimääräistä kilometrihintaa pienemmiksi. Kun lisäksi on oletettavissa, että routivien teiden parantamiskustannukset ovat luvussa 8 esitettyjä parantamiskustannuksia suurempia johtuen lähinnä suuremmasta tien rungon vahvistamistarpeesta, ei routivien teiden, joiden liikennemäärät yleensä ovat melko pieniä, parantaminen osoittaudu kannattavaksi otettaessa säästöinä huomioon vain kohdissa 6.22-6.25 esitetyt ajo- ja kunnossapitokustannussäästöt ja oletettaessa parantamistoimenpiteiden vaikutusajaksi 10 vuotta.

Edellä määritettyjen kustannussäästöjen lisäksi aiheutuu säästöjä usein suoritettavan tien geometrian parantamisen vuoksi. Ajokustannussäästöjä aiheutuu tällöin tien leventämisen, tien mäkisyyden ja kaarteisuuden pienentämisen, näkemäolosuhteiden ja liittymien parantamisen ja muiden liikenneturvallisuutta edistävien parantamistoimenpiteiden vuoksi.

Kunnossapitokustannussäästöt aiheutuvat geometrian parantamisen yhteydessä lähinnä tien lyhentymisestä, joskin näin saavutettavien säästöjen suuruusluokka jää melko pieneksi. Tien geometrian parantamisen aiheuttamat kustannussäästöt tulisi määrittää erikseen kullekin geometrian parantamistoimenpiteelle, jotta välttyttäisiin jonkin kannattamattoman toimenpiteen toteuttamiselta hyvin kannattavan toimenpiteen kustannuksella.

Useimmiten parannettava tie päällystetään joko kylmä- tai kestopäällysteellä. Päällysteen vaihtuessa muuttuvat vuotuiset kunnossapitokustannukset aiheuttaen yleensä säästöjä. Nämä kunnossapitokustannussäästöt on siten otettava huomioon tien päällysteen parantamisvaihtoehtojen taloudellisuutta tarkasteltaessa.

Koko tien lopulliset rakennetta ja geometriaa samanaikaisesti koskevat parantamisvaihtoehdot muodostetaan parhaiksi todettuja erillisvaihtoehtoja yhdistämällä.

10. TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu etupäässä kelirikkoteiden ajo- ja kunnossapitokustannuksia sekä routivien teiden kantavuuden riippuvuutta eri tekijöistä. Kaikkien em. asioiden yksityiskohtainen selvittäminen osoittautui melko laajaksi tehtäväksi, jonka vuoksi tässä tutkimuksessa on monet asiat jouduttu esittämään hyvinkin lyhyesti.

Ajoanalysaattorimittausten tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että kuljettajan ajotapa vaikuttaa aina saatuihin lopputuloksiin. Selvitettäessä ajokustannusten riippuvuuksia eri tekijöistä lienee ajoanalysaattorin käyttö kuitenkin tarkin tutkimusmenetelmä, sillä polttoaineenkulutusten määrittäminen erilaisissa olosuhteissa on muuten varsin vaikea suorittaa.

Soratien päällysteen kunnon ja ajonopeuden, polttoaineenkulutuksen ja ajokustannusten välisten mallien jäännöshajonnat jäivät usein melko suuriksi. Tähän olivat syynä mm. tutkimusteiden erilaiset geometriset ominaisuudet, päällysteen kunnon arvostelumetodi, aineiston pienuus ja tutkimusautojen erilaiset ominaisuudet. Aikaisempia selvityksiä ei ko. asiasta liene suoritettu, joten tulosten vertailua ja niiden luotettavuuden arvostelua ei voitu suorittaa.

Kelirikkoajan aiheuttamien ajoaika-, polttoaineenkulutus- ja ajokustannuslisien määrittämismenetelmästä johtuen saadut tulokset ovat likimääräisiä. Tarkempiin tuloksiin ei liene syytä pyrkiäkään, sillä varsinkin kelirikkoisilla teillä ajoneuvon ominaisuudet ja kuljettajan ajotapa vaikuttavat ajonopeuteen ja polttoaineenkulutukseen erittäin paljon. Jollakin menetelmällä määritetyt keskimääräiset arvot antavat riittävän pohjan investointilaskelmia varten.

Kuorma-autolla suoritettujen ajoanalysaattorimittausten tuloksia on pidettävä lähinnä suuntaa antavina. Mittauksia suoritettiin vain muutamalla tieosalla ja tutkimusauton erikoisominaisuudet ovat saattaneet vaikuttaa huomattavastikin saatuihin tuloksiin.

Kelirikkoteillä suoritettujen kantavuusmittausten virhelähteistä on jo mainittu kohdassa 6.2. Huonosti kantavilla teillä suoritettujen kantavuusmittausten tulosten hajonta on melko suuri ja se vaikuttaa usein huomattavasti tieosalle laskettuun kantavuusarvoon. Tuloksia tarkasteltaessa on erityisesti muistettava, että täyttä kesäkantavuutta ei useinkaan saavutettu viimeiseen mittauskertaan mennessä. Vertailuaineistoa oli varsin vähän saatavissa ja lisäksi niissä esitettyjen kantavuusarvojen määrittämistapojen kirjavuus tai puuttuminen vaikeutti tulosten vertailua.

Routivuuden aiheuttamat kokonaiskunnossapitokustannukset ovat tässä tutkimuksessa esitettyjä suurempia, sillä kunnossapitotarkkailu käsitti vain kelirikkoajan. Kesäaikana teillä suoritettavasta sorastuksesta ainakin osa tehdään routavaurioiden torjumiseksi ennakolta. Sen määrittäminen, kuinka suuri osuus huonosti kantavien teiden sorastustarpeesta on routimisen aiheuttamaa, ei liene kovinkaan helppoa.

Kelirikkoiset tiet ovat useimmiten sorapäällysteisiä maanteitä ja paikallisteitä, joiden liikennemäärät ovat yleensä melko pieniä. Routivuuden poistamisen aiheuttamat kunnossapitokustannussäästöt ovat sorateillä pienet liikennemäärästä riippumatta, eikä kelirikon poistamisen, päällysteen parantamisen ja soratien päällystämisen aiheuttamat ajokustannussäästöt nouse kovinkaan suuriksi pienen liikennemäärän vuoksi. Ottamalla huomioon vain em. säästöt liikennekustannuksissa ei kelirikkoisen tien parantaminen osoittaudu kannattavaksi. Routivan tien parantamisen kannattavuuden määrittämisessä olisi kuitenkin lisäksi jollakin tavalla pyritävä ottamaan huomioon mm. ne kustannukset, jotka syntyvät käytettäessä kiertoteitä tai ajettaessa vajailla kuormilla, sekä kuljetusten ajankohdan siirtymisen aiheuttamat varastointi- ja korkokustannukset.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- / 1/ Ajokustannuslaskelmien uusista perusteista. Moniste tvh/
teknillistaloudellinen toimisto, 7.4.1972.
- / 2/ Lampinen, A.: Teiden päällysrakenteen kantavuusmittauk-
sista. Diplomityö TKK 1969.
- / 3/ Lappalainen, J.: Kainuun maanteiden kantavuusinventointi
ja puutavaran kuljetusten vaatimat vahvistustoimenpiteet.
Diplomityö, Oulu 1971.
- / 4/ Lehtinen, E.: Soratien kantavuus. Lisensiaattityö,
Helsinki 1965.
- / 5/ Lehvonen, R.: Maanteiden kelirikosta ja sen aiheuttamis-
ta tieliikennekustannuksista. Diplomityö, Oulu 1969.
- / 6/ Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohteita, osa I.
Tvh n:o 2660, Helsinki 1970.
- / 7/ Mattila, S.: Tilastotiede II. Helsinki 1969.
- / 8/ Normaalimääräykset ja ohjeet, jotka koskevat yleisten
teiden suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa.
Tvl, 1964.
- / 9/ Ohjeet investointilaskelmien suorittamiseksi. Tvh,
Helsinki 1967.
- / 10/ Oy Nokia Ab: Ajoanalysoittori PP 6300, toimintaseloite
- / 11/ Raskaan ajoneuvon polttoaineenkulutuksen riippuvuus no-
peudesta ihanneolosuhteissa. Julkaisematon muistio,
tvh/teknillistaloudellinen toimisto, 10.4.1970.

- /12/ Rengastyypin vaikutus henkilöauton polttoaineenkulutukseen. Julkaisematon muistio, tvh/teknillistaloudellinen toimisto, 15.9.1970.
- /13/ Sainio, S.: Ajokustannukset katuverkossa. Tvh n:o 2.826. Helsinki 1970.
- /14/ Suomen tieyhdistys: Auto ja tie, vuosikerrat 1962-1971.
- /15/ Suomen virallinen tilasto: Tie- ja vesirakennukset, v. 1969-1970.
- /16/ Taipumamittaukset tierekisteriä varten. Tutkimusselostus VTT/tie- ja liikennelaboratorio, Helsinki 1972.
- /17/ Teiden rakenteellinen suunnittelu. VTT/tielaboratorio, Helsinki 1971.
- /18/ Tieinvestointilaskelmat, ohjelman IS 10 käyttöohjeet. Tvh/tiesuunnitteluosasto, Helsinki 25.2.1972.
- /19/ Tie- ja vesirakennuslaitoksen työntekijäin ansiotasotilasto, maaliskuu 1971. Tvh/järjestelytoimiston tiedote, 5.8.1971.
- /20/ Tie- ja vesirakennuslaitos 1972. Tvh/järjestelytoimiston tiedote.
- /21/ Tienpidon tarveselvitys 1985 laatimishjeet. Tvh, Helsinki 1971.
- /22/ Tvh:n kirje N:o Tr-872/Helsinki 12.3.1966.
- /23/ Tvh:n tiestötoimiston tiedotteita.
- /24/ Tvl:n kelirikkotilasto 1951-1972.
- /25/ Uusi-Hakala, M.: Kaksikaistaisten teiden parantamiskustannusten arvioimisesta tieverkko- ja yleissuunnitteluvaiheessa. Tvh n:o 2.829. Helsinki 1971.

- /26/ Sauna-aho, J., Salovaara, V.: Liikennetaloudelliset laskelmat. Liikennetekniikka. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskuksen julkaisu 16-68, Helsinki 1968.
- /27/ Sora- ja öljysorateiden parantamistoimenpiteiden suunnittelu. Tvh n:o 2630, Helsinki 1971.
- /28/ Vasama, P-M., Vartia, Y.: Johdatus tilastotieteeseen, osa II. Helsinki 1972.
- /29/ Vägplan 1970. Statens offentliga utredningar, 1969:56, Stockholm 1969.
- /30/ Vuokrattujen työkoneiden enimmäisvuokrat 1.9.1971 lukien. Tvh n:o 1593, 1971.
- /31/ Westermarck, R.: Tiekustannukset. Liikennetekniikka, Insinöörijärjestöjen koulutuskeskuksen julkaisu 16-68, Helsinki 1968.
- /32/ Yleisten teiden kunnossapitokustannukset. Tvh n:o 2645, Helsinki 1971.
- /33/ Yleisten teiden toteutuneet suorite- ja kustannustiedot, vv. 1969-1970. Tvl/Oulun kustannusryhmä.

Kelirikkotutkimuksessa v.1971 mukana olleet tieosat ja niillä suoritettut toimenpiteet

Tutkimustieosa			Pää- lyste	Pituus (km)	Painoraj. v.1971 (tn)	KVL,YL-70 autot/rask. (kol)	Suoritettut mittaukset ja tutkimukset		
Koodi	Luokka, numero, tieosat	Likim. sijainti					Benkelmanpalkki	Ajoanalysointori	Kunnossapito- tarkkailu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0101	Mt 161/02	Askola-Tiilä	Sr	5.1	6	248/47	x		x
0102	Mt 160/05,06	Pakila-Myrskylä	Sr	8.2	6	293/97			x
0103	Mt 160/01,02	Porvoo-Särkijärvi	Sr	9.8	6	644/78	x		x
0104	Pt 11821/02	Journaankylä-Huhti	Sr	7.4	6	162/7	x		x
0105	Pt 11859/01	Seitlax-Välax	Sr	5.0	-	255/55			x
0201	Mt 222/02	Vaiste-Hakula	Ös	6.6	6	1238/222	x		x
0202	Mt 222/03	Hakula-Tammentaka	Ös	4.6	6	888/174	x		x
0203	Mt 223/01	Tarvasjoki-Hihnala	Bls	6.5	3	456/63	x		x
0204	Mt 222/04	Tammentaka-Simola	Ös	6.6	6	460/102	x		x
0205	Mt 222/05	Simola-Auran as.	Ös	6.0	6	528/81	x		x
0401	Mt 307/01,02	Valkeakoski-Viranmaa	Bls	4.5	-	996/171	x		x
0402	Mt 310/04,05	Kuohenmaa-Savo	Sr	7.8	6	123/40	x		x
0404	Mt 3221/01	Kuisema-Aitoo	Sr	6.5	6	124/29	x		x
0502	Mt 389/01,02	Vainikkala-Kemppilä	Sr	7.9	3	73/13	x		x
0503	Mt 3951/01,02	Joutseno-Vesikkola	Sr	8.1	-	194/30	x		x
0504	Mt 380/02,03	Lemi-Remunen	Sr	8.7	-	526/56	x		x
0601	Mt 414/01,02,03	Heinolan kk-Hirvisalo	Sr	5.9	6	184/23	x		x
0602	Pt 15064/01	Honkapään pt.	Sr	7.0	-	14/6	x	x	x

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0603	Mt 4251/02	Kuivajärvi-Komeankylä	Sr	7.0	-	87/23	x	x	x
0604	Mt 4251/05,06	Vehkalahti-Savivuori	Sr	7.0	-	135/16			x
0605	Mt 4251/03,04	Vehkalahti-Kuivajärvi	Sr	7.0	-	95/19			x
0702	Mt 522/04,05	Parissavaara-Korentovaara	Sr	7.8	-	200/24	x		x
0704	Mt 500/14	Kuuksenvaara-Mäkrävaara	Sr	6.7	-	230/20	x		x
0705	Mt 498/06	Maukkula-Jäniskoski	Sr	7.6	-	102/21	x		x
0801	Mt 5613/07	Hautakylä-Rapakkojoki	Sr	6.2	6	311/65	x	x	x
0802	Mt 599/02,03	Koskenjoki-Herukkamäki	Sr	7.9	-	354/92	x		x
0803	Mt 597/01	Koskenjoki-Turhala	Sr	7.3	6	134/25	x		x
0804	Mt 561/08,09	Ruutana-Saarisperä	Sr	7.9	-	275/38	x		x
0901	Mt 659/12	Muikunlahti-Kymönkoski	Sr	6.3	-	166/26		x (HA ja KA)	x
0902	Mt 557/23	Muikunlahti-Kärnä	Ös	7.0	-	342/79	x	x (HA ja KA)	x
0903	Mt 659/10,11	Kymönkoski-Permoskylä	Sr	7.0	-	123/18	x	x (HA ja KA)	x
0904	Mt 648/12	Huopana-Kumpu	Ös	3.4	-	380/72	x	x (HA ja KA)	x
0905	Pt 16931/01	Keihärinkoski-Kutemainen	Sr	5.0	-	..		x (HA ja KA)	
0906	Mt 651/13	Hännilänsalmi-Sulkava	Ös	6.1	-	405/94	x	x (HA ja KA)	x
0907	Mt 6545/01	Keiteleporhja-Löytänä	Sr	7.0	-	126/40	x	x (HA ja KA)	x
0908	Mt 6161/01,02	Leivonmäki-Kälä	Sr	9.0	-	123/36		x	x
0909	Mt 625/05,06	Uurainen-Höytiä	Sr	8.0	-	218/75		x	x
1001	Mt 736/03	Karvala-Ahola	Sr	5.5	-	384/52	x		x
1002	Mt 741/15	Söyrinki-Purmojärvi	Sr	7.0	-	163/51	x		x
1003	Mt 7421/02,03	Pyhälähti-Vimpeli	Ös	7.0	8	420/97	x		x

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1004	Mt 735/01,02	Pelkola-Kortesjärvi	Sr	6.7	-	343/71	x		x
1101	Mt 560/11,12	Vuohomäki-Nukurinperä	Sr	7.4	6	298/51	x	x	x
1102	Mt 7704/02	Murronperä-Kettuperä	Sr	5.2	6	88/3	x		x
1103	Mt 7691/01	Nivanperä-Nurmesperä	Sr	6.6	6	33/7	x		x
1104	Mt 757/02-07	Kälviä-Alikylä	Sr	26.0	6	259/72			x
1105	Mt 799/02,03	Sulkakylä-Ojakylä	Sr	9.8	6	201/60			x
1201	Mt 821/04,05	Kestilä-Pinkala	Sr	7.0	-	352/85	x		x
1202	Mt 824/09	Kylmäla-Ylipää	Sr	7.0	-	9/3	x		x
1203	Mt 799/05	Pulkila-Junnonoja	Sr	7.0	-	327/77	x		x
1204	Mt 803/02	Leskelä-Savikoskenperä	Sr	6.0	-	149/35	x		x
1301	Mt 982/10	Mainua-Siltalanperä	Ös	4.9	-	744/205	x		x
1302	Mt 901/02	Torinkylä-Sipolankylä	Sr	8.0	6	141/29	x	x	x
1303	Mt 903/07,08	Kaitainsalmi-Onnenaho	Sr	7.0	6	168/26	x	x	x
1304	Mt 9002/05,06	Sapsoperä-Sapsoranta	Sr	5.4	-	206/33	x		x
1305	Mt 982/9	Vuottolahti-Siltalanperä	Ös	5.9	-	788/219	x		x
1401	Mt 944/10,11	Reinikanperä-Ruopsa	Sr	7.0	6	260/67	x		x
1402	Mt 962/04	Leväranta-Tapionniemi	Sr	7.0	8	603/102	x		x
1403	Pt 19792/03,04	Leväranta-Vanhanlomanselkä	Sr	7.0	6	265/73	x		x
1404	Mt 9621/01	Vuostimo-Vuostimojärvi	Sr	7.0	-	173/17	x		x

Luettelo v.1969 ajoanalysaattorimittauksissa mukana olleista tieosista

Tutkimustieosa				
Koodi	Luokka, numero, tieosat	Likim. sijainti	Pääl- lyste	Pituus (km)
1	2	3	4	5
020	Pt 16657/01	Leivonmäki-Etu-Ikola	Sr	4.9
031	Mt 6162/02,03	Etu-Ikola-Paappala	Sr	15.2
041	Mt 6375/01-04	Laukaa-Koivistonkylä	Sr	14.0
071	Mt 659/10,11	Kymönkoski-Kiiminki	Sr	9.7
072	Mt 659/07-09	Kiiminki-Rajakylä	Sr	16.7
081	Mt 659/12	Muikunlahti-Kymönkoski	Sr	5.6
091	Mt 657/01-03	Pihtipudas-Kärväskylä	Sr	10.4
092	Mt 657/03,04	Kärväskylä-Korppinen	Sr	6.3
101	Pt 16925/03,04	Kärväskylä-Tahmonkylä	Sr	10.2
111	Pt 16901/01,02	Ilmolahti pt.	Sr	6.8
112	Pt 16901/01	Vt 4-Ilmolahti	Sr	3.3
121	Mt 6544/01,02	Huopana-Hevosjärvi	Sr	15.2
131	Pt 16931/02,03	Kutemainen-Nurkkaperä	Sr	9.2
132	Pt 16931/01	Keihärinkoski-Kutemainen	Sr	5.3
141	Mt 759/22,23	Keitelepora-Vt 4	Sr	10.1
010	Mt 630/08-11	Uurainen-Saarijärvi	Ös	19.9
020	Vt 13/41,42	Toivakka-Särkimäki	Ös	12.5
030	Vt 13/43	Toivakka-Viisarmäki	Ös	3.7
050	Mt 637/04,05	Laukaa-Vihtasilta	Ös	6.8
070	Mt 644/10,11	Konnevesi-Istunmäki	Ös	13.1
080	Mt 659/13	Taimoniemi-Muikunlahti	Ös	4.1
090	Mt 648/12	Huopana-Kumpu	Ös	3.4

Benkelman-mittausten kenttälomake

BENKELMAN - MITTAUKSET
KELIRIKKOTEILLATv-pliri : KuopionTieosuus : ROOTAVA - VAARASLAHTI
(SAARISTERA)

Päällyste : Sr

Pvm : 21.5.71

Huom : samat pisteet kuin ed. kerralla

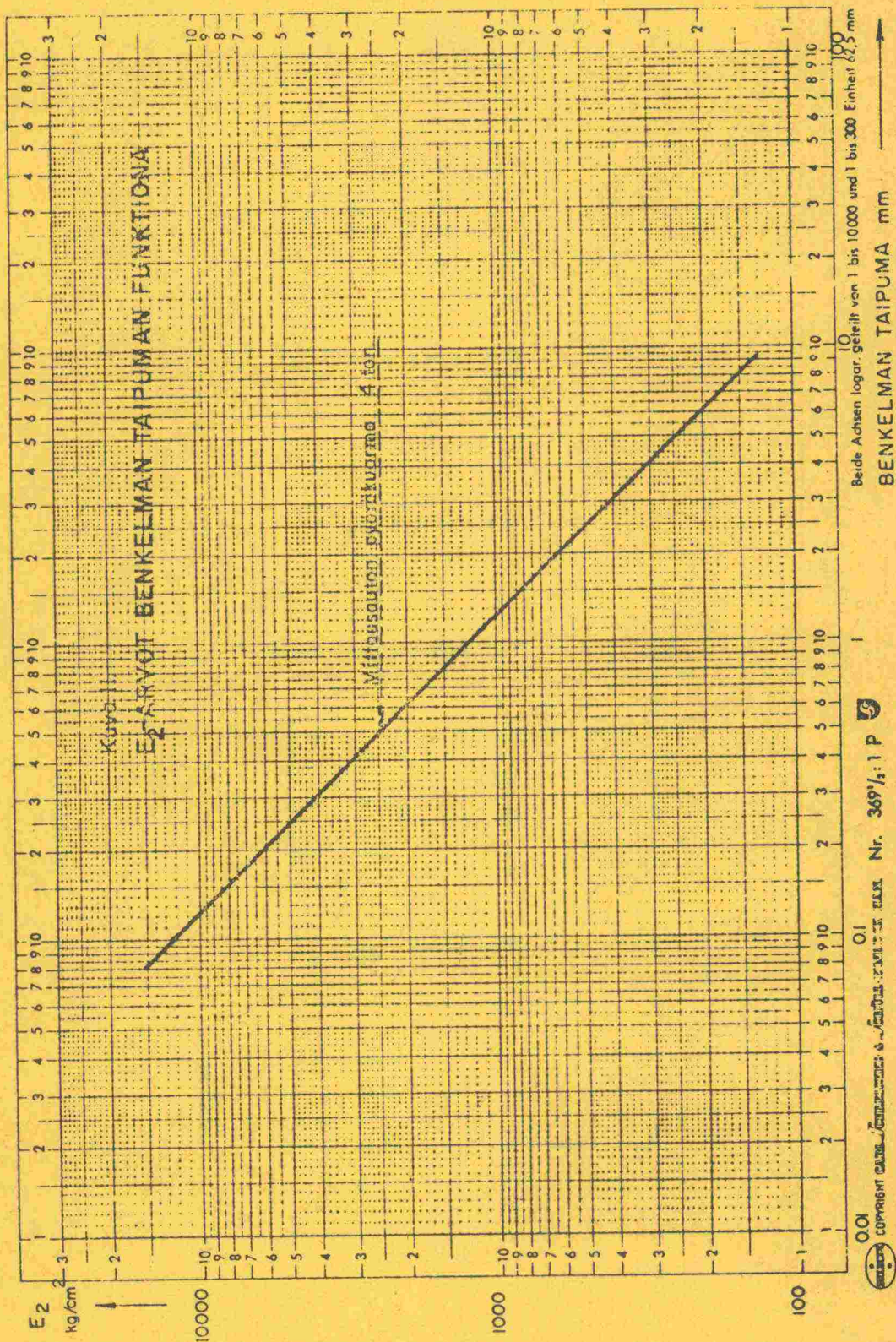
Kuorma-auton

pyöröpalno : 4kmrengaspaine : 6,5rengastyppi : 10,00 x 20

± 0,06

Paalu (vasen kaista)	Kellolukema		Talpu- ma * mm		Paalu (oikea kaista)	Kellolukema		Talpu- ma * mm	
	1) 2)	keskiarvo mm				1) 2)	keskiarvo mm		
1+00	88 90	0,89	3,56		2+00	73 76	0,745	2,98	
3+00	25 25	0,25	1,00		4+00	21 22	0,215	0,86	
5+00	16 15	0,155	0,62	TIED. PINT. SULANUT 80cm	6+00	22 21	0,215	0,86	
7+00	28 26	0,27	1,08		8+00	20 22	0,21	0,84	
9+00	21 19	0,20	0,80		10+00	29 27	0,28	1,12	TIED. PINT. SULANUT 80cm
11+00	39 40	0,395	1,58		12+00	31 30	0,305	1,22	
13+00	65 65	0,65	2,60		14+00	39 42	0,405	1,62	
15+00	37 34	0,355	1,42	SULAN 60cm	16+00	30 28	0,29	1,16	
17+00	25 23	0,24	0,96		18+00	87 94	0,905	3,62	
19+00	37 33	0,35	1,40		20+00	56 59	0,575	2,30	SULAN 70cm
21+00	81 85	0,83	3,32		22+00	18 19	0,185	0,74	
23+00	40 39	0,395	1,58		24+00	21 22	0,215	0,86	
25+00	30 28	0,29	1,16	SULAN 40cm	26+00	80 86	0,83	3,32	
27+00	42 44	0,43	1,72		28+00	44 44	0,44	1,76	

* vlpuvarsisuhde x keskiarvo



Havaintoja pakkaskausten alkamisajankohdista ja pituuksista, roudan tunkeutumisesta maahan ja roudan pintasulamises-
sekä tien kantavan kauden pituuksista alueilla I-V vv. 1958-1964 / 4 /.

Alue	Pakkaskauden alku vaihtelu keskim.	Roudan tunkeutumisen n. 20 cm:n syvyyteen keskim. alku	Pakkaskauden pituus vaihtelu (vrk)	Roudan pysyvän pintasulamisen keskim. alku	Tien kantavan kauden keskim. pituus (vrk)	Roudan pintasulamis- kauden keskim. pituus (vrk)
I	9.11.-24.11. 13.11.	10.12.	91-142	11.4.	120	40
II	6.11.-22.11. 11.11.	3.12.	107-163	12.4.	130	44
III	6.11.-20.11. 9.11.	28.11.	136-162	14.4.	138	46
IV	29.10.-22.11. 7.11.	21.11.	142-170	18.4.	148	53
V	3.10.-18.11. 26.10.	9.11.	156-206	25.4.	167	56

Kunnossapitotarkkailuteiden keräilylomake

Tie n:o	KUNNOSSAPITOTOIMENPIDE			Työtulos	
Päivä	MIESTYÖ (ei kuljettajia)	Urakatyötunnit	Tuntityötunnit	50 %	Yht. 100 %
	KONETYÖ (merkki, malli, työlaji)	Työtunnit	Työ jkm		
	KULJETUKSET		Määrä	km	tunnit
	AINEET		Lastu	Määrä	
	MUUT TIEDOT			Laastija	

